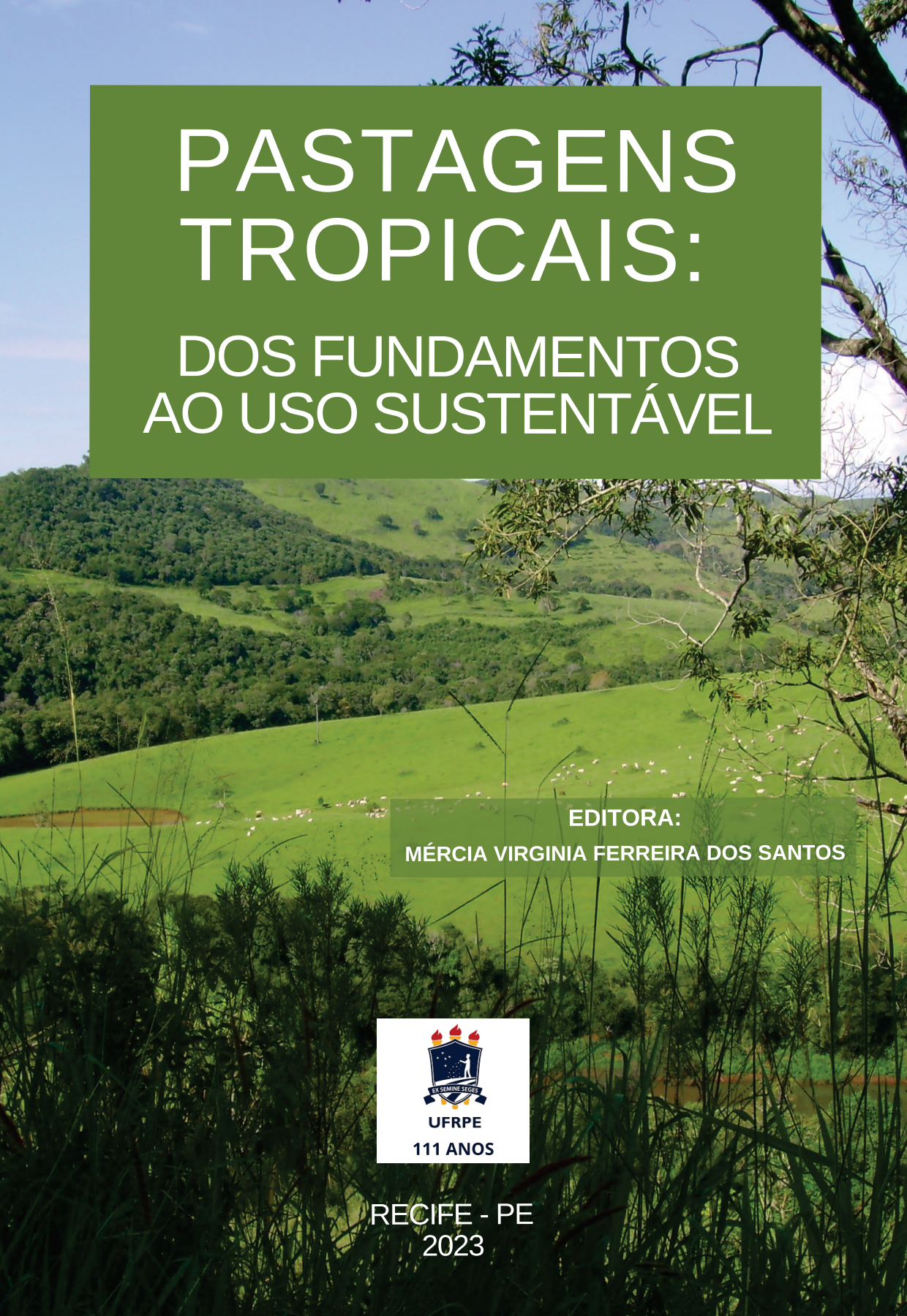

PASTAGENS TROPICAIS:

DOS FUNDAMENTOS AO USO SUSTENTÁVEL

EDITORA:

MÉRCIA VIRGINIA FERREIRA DOS SANTOS

UFRPE

111 ANOS

RECIFE - PE

2023

Pastagens tropicais: Dos fundamentos ao uso sustentável

Pastagens tropicais: Dos fundamentos ao uso sustentável

Editora
Mércia Virginia Ferreira dos Santos

As informações contidas nos capítulos são de inteira responsabilidade dos respectivos autores.
Todos os direitos reservados aos autores.
Nenhuma parte dessa obra pode ser reproduzida sem a prévia autorização escrita dos autores e editores.
Editorção eletrônica - Suprema Gráfica e Editora Ltda.
Capa - Luiz Paulo Santos Barros Cavalcanti
Revisão - Editores e Autores

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Pastagens tropicais [livro eletrônico] : dos fundamentos ao uso sustentável / editora Mércia Virginia Ferreira dos Santos. -- Visconde do Rio Branco, MG : Suprema Gráfica, 2023.
PDF

Vários autores.
Bibliografia.
ISBN 978-85-8179-199-9

1. Agricultura - Aspectos ambientais - Brasil 2. Ecossistemas 3. Inovações tecnológicas 4. Sustentabilidade I. Santos, Mércia Virginia Ferreira dos.

23-174821 CDD-630

Índices para catálogo sistemático:

1. Agricultura 630

Eliane de Freitas Leite - Bibliotecária - CRB 8/8415

Mensagem da Editora

A importância dos ecossistemas de pastagens para a sobrevivência do ser humano é relevante, devendo esses ecossistemas serem manejados considerando as inúmeras interações entre seus componentes.

O livro digital intitulado **"Pastagens tropicais: Dos fundamentos ao uso sustentável"** pretende ser mais uma contribuição para divulgação de inovações tecnológicas, com o intuito de favorecer a produção animal em diferentes regiões do país.

Pretende-se que o formato digital e de acesso gratuito faça chegar aos produtores de diversas regiões brasileiras, tecnologias inovadoras e devidamente comprovadas. As instituições de ensino e de pesquisa brasileiras certamente contribuíram, ao longo dos anos, de forma marcante na geração de muitas tecnologias apresentadas nessa obra e na formação de recursos humanos, alguns dos quais também participaram da construção desse livro.

Esta obra, é mais que uma publicação técnica e científica. Ela é uma oportunidade única de se reunir grandes estudiosos das pastagens brasileiras e de outras partes do mundo. Espera-se, que esses conhecimentos construídos com base na ciência, cheguem aos produtores, técnicos, alunos de graduação e de pós-graduação.

Por fim, agradeço aos autores e às autoras que dispensaram seu tempo, sem remuneração, para a concretização desta obra. Desejo que a pecuária nacional faça bom uso dos conhecimentos aqui apresentados. E que, cada autor e autora, mantenha a chama de amor e responsabilidade com todos aqueles que constroem a produção animal brasileira.

Mércia Virginia Ferreira dos Santos
Professora Titular
DZ-UFRPE

Esse livro, é dedicado à Rinaldo e Paula, e à minha família, pelo companheirismo, amor e apoio, os quais me impulsionam e iluminam meu caminho.

Aos meus alunos e ex-alunos de graduação e de pós-graduação, pela contínua oportunidade de aprendizado.

À Prof. José Neuman Miranda Neiva, pela amizade e pelas inúmeras discussões técnicas e de vida.

Prefácio

É com grande satisfação que apresento este livro intitulado **Pastagens Tropicais: Dos fundamentos ao uso sustentável**, editado pela Professora Mércia Virginia Ferreira dos Santos, docente da UFRPE, pesquisadora do CNPq e reconhecida nacional e internacionalmente pelo trabalho desenvolvido na área de Pastagens. A Professora Mércia pertence à Academia Pernambucana de Ciências, devido à sua história de dedicação à ciência brasileira e, em especial, à Ciência Pernambucana.

O livro é resultado da dedicação e do trabalho de renomados pesquisadores, brasileiros e estrangeiros, e abrange diversas áreas relacionadas ao tema, como melhoramento genético, manejo, ecossistemas tropicais, nutrição animal, entre outros. Por ser editado de forma digital, permitirá o acesso a um público grande, resultando em um ganho imensurável para a sociedade, por preencher uma lacuna no conhecimento de discentes de graduação e de pós-graduação na área de pastagens, relacionadas ao ecossistema tropical.

Ressalto, ainda, que a sustentabilidade é um tema atual e faz parte dos Objetivos de Desenvolvimentos Sustentáveis (ODS), elaborados pelas Nações Unidas, que consistem em um apelo global à ação para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima, bem como garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade.

Desta forma, parabenizo e destaco o papel e a relevância dos autores e da editora, em divulgar a experiência de cada um e o trabalho coletivo na área de pastagens a nível nacional e internacional, assim como ressalto sua importância no desenvolvimento da pesquisa, do ensino e da extensão.

Maria Madalena Pessoa Guerra
Pró-Reitora de Pós-graduação da UFRPE

Lista dos Autores

ABMAEL DA SILVA CARDOSO
Engenheiro Agrônomo, D.Sc. em Zootecnia, Pós-Doutorando na University of Florida, Range Cattle Research and Education Center; Experiment Satation, Ona, FL. USA, 33.865; adasilvacardoso@ufl.edu

ALAN BERNARD OLIVEIRA DE SOUSA
Engenheiro Agrônomo, D.Sc. em Engenharias de Sistemas Agrícolas, Professor da Universidade Federal do Ceará/Departamento de Engenharia Agrícola; Rua Campus do Pici, s/n, Bloco 847, Campus do Pici, Fortaleza-CE, 60.440-554; alan2b@gmail.com

ALEXANDRE CARNEIRO LEÃO DE MELLO
Engenheiro Agrônomo, D.Sc. em Ciência Animal e Pastagens, Professor Titular da Universidade Federal Rural de Pernambuco/Departamento de Zootecnia; Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife-PE, 52.171-030; alexandre.lmello@ufrpe.br

ALEXANDRE DE MATOS MARTINS PEREIRA
Ecólogo, Doutorando do Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul; Av. Costa e Silva, s/n, Bairro Universitário, Campo Grande-MS, 79.070-900; alexandre.m.pereira@ufms.br

ANA CAROLINE CERQUEIRA DE MELO VASCO
Zootecnista, Ph.D em Zootecnia, Professora Assistente de Equine Studies, Equine Studies Starks Center, Midway University; 512 E. Stephens Street, Midway, KY 40347, USA; carol.vasco@midway.edu

ANA CLAUDIA RUGGIERI
Engenheira Agrônoma, D.Sc. em Zootecnia, Professora da Universidade Estadual Paulista /Departamento de Zootecnia; Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, Jaboticabal-SP, 14.884-900; ana.ruggieri@unesp.br

ANA MARIA HERRERA ANGULO
Engenheira Agrônoma, D.Sc. em Zootecnia, Professora da Universid Nacional Experimental del Táchira; Avenida Universid, setor Paramillo, San Cristóbal, estado Táchira, Venezuela, 5.001; aherrera@unet.edu.ve

ANÍBAL COUTINHO DO RÊGO
Engenheiro Agrônomo, D,Sc. em Zootecnia, Docente do Departamento de Zootecnia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará. Rua Campus do Pici, s/n, bloco 808, Pici, Fortaleza, Ceará, CEP 60.440-554; anibalcr@ufc.br

ANTÔNIO LEANDRO CHAVES GURGEL
Zootecnista, D.Sc. em Ciência Animal, Professor da Universidade Federal do Piauí; Av. Manoel Gracindo, Km 3, Planalto Horizonte, Bom Jesus-PI, 64.000-000; antonio.gurgel@ufpi.edu.br

ANTONIO VANDER PEREIRA
Engenheiro Agrônomo, D.Sc. em Genética e Melhoramento de Plantas, Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Embrapa Gado de Leite; Av. Eugênio do Nascimento, 610, Dom Bosco, Bairro Aeroporto, Juiz de Fora-MG, 36.038-330; vander.pereira@embrapa.br

ARNILDO POTT
Engenheiro Agrônomo, D.Sc. em Pasture Science, Professor voluntário da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul; Av. Costa e Silva, s/n, Bairro Universitário, Campo Grande-MS, 79.070-900; arnildo.pott@gmail.com

BRUNO GROSSI COSTA HOMEM
Zootecnista, D.Sc. em Zootecnia, Pós-doutorando da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Embrapa Agrobiologia; Rodovia BR-465, Km 7, Seropédica-RJ, 23.897-970; grossizoo@hotmail.com

CAMILA EDUARDA SOUZA DE SOUSA
Engenheira Agrônoma, Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da Universidade Estadual Paulista; Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, Jaboticabal-SP, 14.884-900; camila.sousa@unesp.br

CAMILLA MENDONÇA SILVA
Zootecnista, D.Sc. em Ciência Animal, Professora da Universidade Federal Rural de Pernambuco/Departamento de Zootecnia; Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife-PE, 52.171-030; camilla.mendonca@ufrpe.br

CARLA SILVA CHAVES
Zootecnista, D.Sc. em Zootecnia, Pós-Doutoranda na Universidade Federal do Mato Grosso; Avenida Alexandre Ferronato, 1200, Bairro Residencial Cidade Jardim, Sinop-MT, 78.550-728; carlazootecnia@gmail.com

DANIELLE NASCIMENTO COUTINHO
Zootecnista, D.Sc. em Zootecnia, Avenida PH Rolfs, s/n, Campus Viçosa, Viçosa-MG, 36.570-900; daniellencout@gmail.com

DARCLET TERESINHA MALERBO-SOUZA
Zootecnista, D.Sc. em Produção Animal, Professora da Universidade Federal Rural de Pernambuco/Departamento de Zootecnia; Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife-PE, 52.171-030; darclet.malerbo@ufrpe.br

DAVID MIRABEDINI JARAMILLO
Zootecnista, PhD em Agronomia, Pesquisador da USDA - Agricultural Research Service, U.S. Dairy Forage Research Center, 2615 Yellostone Dr. Marshfield, WI 54449; david.jaramillo@usda.gov

DAYANNE CAMELO
Zootecnista, Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Zootecnia na Universidade Federal Rural de Pernambuco; Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife-PE, 52.171-030; dayannecamelo@gmail.com

DULCIENE KARLA DE ANDRADE SILVA
Zootecnista, D.Sc. em Zootecnia, Professora da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco; Av. Bom Pastor, s/n, Boa Vista, Garanhuns-PE, 55.292-270; kakazoo50@gmail.com

ERICK RODRIGO DA SILVA SANTOS
Zootecnista, Ph.D. em Agronomia, Professor Assistente de Forragicultura na University of Alberta, Department of Agricultural, Food and Nutritional Science; 9011 – 116 St NW, NA, T6G2P5, Edmonton-CA; ericksantos@ualberta.ca

FÁTIMA ELE EL SEHER
Bióloga, D.Sc. em Biotecnologia, Gestora ambiental e de projetos na Fundação do Meio Ambiente do Pantanal; Rua Cuiabá, 1614, Corumbá-MS. 79330040 fatimaseher@yahoo.com.br

FRANCISCO GLEYSON DA SILVEIRA ALVES
Zootecnista, D.Sc. em Zootecnia, Pesquisador visitante na Universidade Federal do Ceará; Avenida Mister Hull, 2977, bl. 808, Pici, Fortaleza-CE, 60.440-55; gleyson@ufc.br

GEOVERGUE RODRIGUES DE MEDEIROS
Zootecnista, D.Sc. em Zootecnia, Pesquisador do Instituto Nacional do Semiárido; Av. Francisco Lopes de Almeida, s/n, Serrotão, Campina Grande-PB, 58.434-700; geovergue.medeiros@insa.gov.br

GERALDO ALVES DAMASCENO JUNIOR
Biólogo, D.Sc. em Biologia Vegetal, Professor da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul/Departamento de Biologia; Av. Senador Filinto Müller, s/n, Cidade Universitária, Campo Grande-MS, 79.070-900; geraldodamasceno@gmail.com

GLEISE MEDEIROS DA SILVA
Zootecnista, Ph.D. em Zootecnia, Professor and BCRC - Hays Chair in Beef Production Systems, Department of Agricultural, Food, and Nutritional Science, University of Alberta; 9011 - 116 St NW, Edmonton, AB, T6G 2P5, Canada; gleise.silva@ualberta.ca

HARLEY DEAN NAUMANN
Forage Physiologist, University of Missouri – Columbia, 920 E. Campus Dr, Columbia, MO 65211 USA; naumannhd@missouri.edu

IGOR LIMA BRETAS
Zootecnista, D.Sc. em Zootecnia, Pós-Doutorando na University of Florida, North Florida Research and Education Center; 3925 Highway 71, Marianna, FL. USA, 32.446; ig.limabreats@ufl.edu

ITALVAN MILFONT MACÊDO
Zootecnista, D.Sc. em Zootecnia, Professor substituto da Universidade Federal Rural de Pernambuco/Departamento de Zootecnia; Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife-PE, 52.171-030; italvanzootecnista@gmail.com

JAMES PIERRE MUIR
Biólogo, Ph.D. em Agronomia, Professor na Texas A&M AgriLife Research, 1229 North US Highway 281, Stephenville TX 76401 USA; j-muir@tamu.edu

JANERSON JOSÉ COELHO
Zootecnista, D.Sc. em Microbiologia Agrícola Aplicada, Pós-Doutorando na Universidade Estadual do Maranhão; Avenida Lourenço Vieira da Silva, 1.000, Jardim São Cristovão, São Luís-MA, 65.055-310; janersoncoelhozoo@gmail.com

JOÃO TIAGO CORREIA OLIVEIRA
Zootecnista, D.Sc. em Zootecnia, Professor da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco; Av. Bom Pastor, s/n, Boa Vista, Garanhuns-PE, 55.292-278; joao.oliveira@ufape.edu.br

JOSÉ CARLOS BATISTA DUBEUX JUNIOR
Engenheiro Agrônomo, Ph.D. em Agronomia, Professor na University of Florida, North Florida Research and Education Center; 3925 Highway 71, Marianna, FL. USA, 32.446; dubeux@ufl.edu

JOSÉ NEUMAN MIRANDA NEIVA
Zootecnista, D.Sc. em Zootecnia, Professor da Universidade Federal do Norte do Tocantis, Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia, BR-153, km 112, Zona Rural, s/n, Araguaína-TO, 77.804-970; araguaia2007@gmail.com

JUAREZ CAMPOLINA MACHADO
Engenheiro Agrônomo, D.Sc. em Genética e Melhoramento, Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Embrapa Gado de Leite; Av. Eugênio do Nascimento, 610, Dom Bosco, Bairro Aeroporto, Juiz de Fora-MG, 36.038-330; juarez.machado@embrapa.br

JULIANA DUARTE MESSANA
Zootecnista, D.Sc. em Zootecnia, Professora da Universidade Estadual Paulista, Departamento de Zootecnia, Campus Jaboticabal-SP, 14.884-900; duarte_juliana@hotmail.com

KARINA GUIMARÃES RIBEIRO
Zootecnista, D.Sc. em Zootecnia, Professora Titular da Universidade Federal de Viçosa/Departamento de Zootecnia; Av. P.H. Rolfs, s/n, Campus Viçosa, Viçosa-MG, 36.570-900; karinaribeiro@ufv.br

LETÍCIA COUTO GARCIA
Bióloga, D.Sc. em Biologia Vegetal, Professora da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul; Professora Adjunta na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul; Instituto de Biociências Cidade Universitária, Av. Costa e Silva - Pioneiros, Campo Grande - MS, 79070-900; garcialcbio@yahoo.com.br

LILIAN FRANCISCO ARANTES DE SOUZA
Zootecnista, D.Sc. em Zootecnia, Professora da Universidade Federal Rural de Pernambuco/Departamento de Zootecnia; Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife-PE, 52.171-030; lilian.arantes@ufrpe.br

LILIANE SEVERINO DA SILVA
Engenheira Agrônoma, D.Sc. em Agronomy and Crop Science, Professora Assistente Extension and Research Forage Agronomist, Animal and Veterinary Sciences Department, Clemson University; 64 Research St, Blackville, SC 29817, USA; lseveri@clemson.edu

LUANA MAYARA DANTAS QUEIROZ
Zootecnista, M.Sc. em Agronomia, Doutoranda na University of Florida, North Florida Research and Education Center; 3925 Highway 71, Marianna, FL. USA, 32.446; ldantasqueiroz@ufl.edu

MAGNO JOSÉ DUARTE CÂNDIDO
Engenheiro Agrônomo, D.Sc. em Zootecnia, Professor Titular na Universidade Federal do Ceará/Departamento de Zootecnia; Av. Mister Hull, 2977, Bl. 808, Pici, Fortaleza-CE, 60.440-554; magno@ufc.br

MÁRCIO VIEIRA DA CUNHA
Zootecnista, D.Sc. em Zootecnia, Professor da Universidade Federal Rural de Pernambuco/Departamento de Zootecnia; Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife-PE, 52.171-030; marcio.cunha@ufrpe.br

MARCOS NEVES LOPES
Engenheiro Agrônomo, Dr. em Zootecnia, Pós-doutorado em Zootecnia, Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), Campus Pio IX; Rodovia Estadual PI 142, S/N, KM 02, Pio IX – PI, CEP 64660-000. marcos.neves@ifpi.edu.br

MARIA ALINE ALVES MOTA
Zootecnista, Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Zootecnia na Universidade Federal Rural de Pernambuco; Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife-PE, 52.171-030; mariaaline168@gmail.com

MARIA NAGILA FERREIRA DA COSTA
Engenheira Agrônoma, Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Zootecnia na Universidade Federal Rural de Pernambuco; Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife-PE, 52.171-030; mmarianagila@gmail.com

MARIO DE ANDRADE LIRA JUNIOR
Engenheiro Agrônomo, D.Sc. em Plant Science, Professor da Universidade Federal Rural de Pernambuco/Departamento de Agronomia; Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife-PE, 52.171-900; mario.alirajr@ufrpe.br

MÉRCIA VIRGINIA FERREIRA DOS SANTOS
Zootecnista, D.Sc. em Zootecnia, Professora Titular da Universidade Federal Rural de Pernambuco/Departamento de Zootecnia; Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife-PE, 52.171-900; mercia.vfsantos@ufrpe.br

NATÁLIA VIANA DA SILVA
Zootecnista, Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Zootecnia na Universidade Federal Rural de Pernambuco; Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife-PE, 52.171-030; natalia.viana@ufrpe.br

NATALIA VILAS BOAS FONSECA
Zootecnista, M.Sc. em Zootecnia, Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da Universidade Estadual Paulista/Departamento de Zootecnia, Campus Jaboticabal, Jaboticabal-SP, 14.882-900; nataliafonseca0531@hotmail.com

ODILON GOMES PEREIRA
Engenheiro Agrônomo, D.Sc. em Zootecnia, Professor Titular no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa; Avenida PH Rolfs, s/n, Campus Viçosa, Viçosa-MG, 36.570-900;odilon@ufv.br

PÂMELLA THALITA SOUZA SENA
Engenheira Agrônoma, Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo na Universidade Federal Rural de Pernambuco; Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife-PE, 52.171-900; pamellathalita@gmail.com

PEDRO HENRIQUE FERREIRA DA SILVA
Zootecnista, D.Sc. em Zootecnia, Pesquisador do Instituto Nacional do Semiárido; Av. Francisco Lopes de Almeida, s/n, Serrotão, Campina Grande-PB, 58.434-700; pehenrique1709@gmail.com

RAYANNE THALITA DE ALMEIDA SOUZA
Zootecnista, D.Sc. em Zootecnia, Professora da Escola Técnica Estadual Governador Eduardo Campos; Rua Projetada, 01, Parque de Exposição Eladio Porfirio de Macedo, Centro, São Bento do Una-PE, 55.370-000; rayannethalita@hotmail.com

RICARDO ANDRADE REIS
Zootecnista, D.Sc. em Zootecnia, Professor Titular da Universidade Estadual Paulista/ Departamento de Zootecnia, Campus Jaboticabal-SP, 14.884-900; ricardo.reis@unesp.br

RINALDO LUIZ CARACIOLO FERREIRA
Engenheiro Florestal, D.Sc. em Ciências Florestais, Professor Titular da Universidade Federal Rural de Pernambuco/Departamento de Ciências Florestais; Rua Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife-PE, 52.171-900. rinaldo.ferreira@ufrpe.br

ROMILDO DA SILVA NEVES
Zootecnista, Pesquisador do Instituto Nacional do Semiárido; Av. Francisco Lopes de Almeida, s/n, Serrotão, Campina Grande-PB, 58.434-700; romildo.neves@insa.gov.br

SANDRA APARECIDA SANTOS
Zootecnista, D.Sc. em Zootecnia, Pesquisadora da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Embrapa Pantanal; Rua 21 de Setembro, 1880, Corumbá-MS; sandra.santos@embrapa.br

TADEU VINHAS VOLTOLINI
Zootecnista, D.Sc. em Ciência Animal e Pastagens, Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido /Embrapa Semiárido; Rodovia BR 428, km 152, Zona rural, Petrolina-PE, 56.302-970, tadeu.voltolini@embrapa.br

TERESA CRISTINA MORAES GENRO
Zootecnista, D.Sc. em Zootecnia, Pesquisadora da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa de Pecuária dos Campos Sul-Brasileiros/Embrapa Pecuária Sul; BR 153, km 603, Vila Industrial, Bagé-RS, 96.401-970; cristina.genro@embrapa.br

TONI CARVALHO DE SOUZA
Engenheiro Agrônomo, D.Sc. em Zootecnia, Professor substituto no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano; Rua Manoel Romão, s/n, Alagoinhas-BA, 48.030-530; tonicarvalho.ba@gmail.com

VALDSON JOSÉ DA SILVA
Zootecnista, D.Sc. em Ciência Animal e Pastagens, Professor da Universidade Federal Rural de Pernambuco/Departamento de Zootecnia; Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife-PE, 52.171-030; valdson.silva@ufrpe.br

WILLIANE PATRÍCIA DA SILVA DINIZ
Zootecnista, D.Sc. em Zootecnia, Pesquisadora na Universidade Federal Rural de Pernambuco-FACEPE; Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife-PE, 52.171-030; willianepsd@gmail.com

Sumário

		Página
Capitulo Especial		
	111 Anos da Universidade Federal Rural de Pernambuco, 53 Anos do Departamento de Zootecnia e 32 Anos de Atuação no Magistério Superior Mércia Virginia Ferreira dos Santos	23
1	**As pastagens e a produção animal no Brasil** José Neuman Miranda Neiva	29
2	**Fatores ecológicos na produção e qualidade de plantas forrageiras** Mércia Virginia Ferreira dos Santos, Ana Maria Herrera Ângulo, Ana Claudia Ruggieri, Natália Viana da Silva, Williane Patrícia da Silva Diniz e Camila Eduarda Souza de Sousa	37
3	**Melhoramento genético de forrageiras tropicais** Antonio Vander Pereira e Juarez Campolina Machado	77
4	**Morfogênese de plantas forrageiras tropicais** Pedro Henrique Ferreira da Silva, Mércia Virginia Ferreira dos Santos, Valdson José da Silva, Maria Nagila Ferreira da Costa e Márcio Vieira da Cunha	105
5	**Manejo de pastagens e capineiras** Alexandre Carneiro Leão de Mello, Ana Maria Herrera Angulo, Pedro Henrique Ferreira da Silva e Tadeu Vinhas Voltolini	131
6	**Irrigação de plantas forrageiras** Magno José Duarte Cândido, Marcos Neves Lopes, Alan Bernard Oliveira de Sousa, Francisco Gleyson da Silveira Alves e Aníbal Coutinho do Rêgo	171
7	**Adubação de pastagens tropicais** Janerson José Coelho, Márcio Vieira da Cunha, Toni Carvalho de Souza, Dayanne Camelo e Antônio Leandro Chaves Gurgel	203
8	**Manejo de pastagens consorciadas** Pedro Henrique Ferreira da Silva, Mércia Virginia Ferreira dos Santos, Márcio Vieira da Cunha, Romildo da Silva Neves e Geovergue Rodrigues de Medeiros	233
9	**Pastagens nativas em diferentes ecossistemas** Mércia Virginia Ferreira dos Santos, Sandra Aparecida Santos, Teresa Cristina Moraes Genro, Williane Patrícia da Silva Diniz e Márcio Vieira da Cunha	259
10	**Suplementação e pressão de pastejo em pastagens tropicais** Ricardo Andrade Reis, Abmael da Silva Cardoso, Juliana Duarte Messana e Natalia Vilas Boas Fonseca	289
11	**Serviços ecossistêmicos em pastagens tropicais** José Carlos Batista Dubeux Junior, Igor Lima Bretas, David Mirabedini Jaramillo, Dayanne Camelo, Luana Mayara Dantas Queiroz e Bruno Grossi Homem	321
12	**Serrapilheira e produção de raízes em pastagens tropicais** Karina Guimarães Ribeiro, Carla Silva Chaves, Danielle Nascimento Coutinho, Dayanne Camelo e Odilon Gomes Pereira	355
13	**Fogo como ferramenta de manejo em pastagens nativas** Sandra Aparecida Santos, Arnildo Pott, Letícia Couto Garcia, Alexandre de Matos Martins Pereira, Fátima Ele El Seher e Geraldo Alves Damasceno Junior	387

14	**Métodos para avaliação de pastagens e plantas forrageiras** Erick Rodrigo da Silva Santos, Ana Caroline Cerqueira de Melo Vasco, Liliane Severino da Silva, David Mirabedini Jaramillo e Gleise Medeiros da Silva	409
15	**Sistemas integrados em pastagens tropicais** Valdson José da Silva, Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira e Mércia Virginia Ferreira dos Santos	441
16	**Taninos em plantas forrageiras** James Pierre Muir, Harley Dean Naumann, Mércia Virginia Ferreira dos Santos, Dulciene Karla de Andrade Silva e Rayanne Thalita de Almeida Souza	467
17	**Fixação de Nitrogênio em plantas forrageiras** Mario Andrade Lira Junior, Mércia Virginia Ferreira dos Santos, João Tiago Correira Oliveira, Pâmella Thalita Souza Sena e Williane Patrícia da Silva Diniz	497
18	**Pastagens na alimentação de não ruminantes** Lilian Francisco Arantes de Souza, Mércia Virginia Ferreira dos Santos, Camilla Mendonça Silva e Italvan Milfont Macêdo	515
19	**Visitantes florais em plantas forrageiras tropicais** Williane Patrícia da Silva Diniz, Mércia Virginia Ferreira dos Santos, Darclet Teresinha Malerbo de Souza, Márcio Vieira da Cunha, Maria Aline Alves Mota e Valdson José da Silva	545

Capítulo Especial

111 Anos da Universidade Federal Rural de Pernambuco, 53 Anos do Departamento de Zootecnia e 32 Anos de Atuação No Magistério Superior

Mércia Virginia Ferreira dos Santos[1]

A Universidade Federal Rural de Pernambuco completa 111 anos em 03 de novembro de 2023.

É uma instituição pioneira em Pernambuco. Com os cursos das Ciências Agrárias amadureceu, cresceu e ampliou seus cursos, tendo atualmente 55 cursos de graduação e 42 programas de pós-graduação.

[1] Professora Titular, DZ-UFRPE

Em 1912, na cidade de Olinda, os monges beneditinos Dom Plácido de Oliveira, Dom Bento Pickel, Dom Pedro Bandeira de Melo e Dom Agostinho Ikas, liderados por Dom Pedro Roeser empreenderam esforços para a criação da semente da nossa Universidade Federal Rural de Pernambuco (Figura 1).

Figura 1. Aspecto das ruínas, onde foi plantada a "semente" da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Autor: Fernando Azevedo.

Em 1º de fevereiro de 1914, foi realizada a 1ª aula inaugural das Escolas de São Bento, após curso preparatório que envolveu os monges-professores e futuros alunos. O objetivo era estimular, nos jovens pernambucanos, o interesse pelas atividades agropastoris, favorecendo a economia regional.

As Escolas funcionavam em regime de internato e semi-internato, por meio do qual os alunos de regiões distantes permaneciam no espaço escolar desenvolvendo projetos e atividades agrícolas

Em 1915, os monges, com ajuda do governo, compraram o Engenho de São Bento, localizado no distrito de Tapera, município de São Lourenço da Mata-PE, com uma área superior a mil hectares. Foi lá que se construíram as instalações da Escola Superior de Agricultura de São Bento. Providenciaram vários campos de culturas próprios para o ensino experimental e o consumo alimentício diário das

Escolas, cultivando milho, sorgo, feijão, cana-de-açúcar, mandioca, batata doce, arroz, hortaliças e outros gêneros. Também existiam aviário, apiário, pocilga, estábulo, capril, coelhário entre outras instalações. Com o apoio do Estado, essas Escolas passaram a ter autonomia.

Os beneditinos permaneceram na direção até 1936, quando foi estatizada e recebeu a denominação de Escola Superior de Agricultura de Pernambuco (ESAP).

Em 1938, através do decreto nº 82 de 12 de março, ocorre a transferência da ESAP do Engenho São Bento para o prédio reformado que anteriormente tinha sido construído para ser reformatório de menores, no bairro de Dois Irmãos, Recife-PE. Naquele mesmo ano, foram anexados a ESAP, o Instituto de Agricultura de Pernambuco, a granja de Dois Irmãos e o Jardim Botânico.

Foi em 1947, através do decreto de lei nº 1741 de 24 de julho, que a Escola Superior de Agricultura de Pernambuco passou a ser denominada de Universidade Rural de Pernambuco.

Em 1967, pelo decreto 60.731, a Universidade Rural de Pernambuco passa a ser denominada Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), integrando-se ao sistema do Ministério da Educação e Cultura.

Em 1970, o Conselho de Ensino e Pesquisa da UFRPE cria distintos Departamentos, entre esses, o Departamento de Zootecnia. Neste mesmo ano, por meio da resolução nº 12A é criado alguns cursos de graduação, entres os quais o Curso de Graduação em Zootecnia.

Em 1980, foi criado o curso de pós-graduação, na época com o nome de Curso de Mestrado em Nutrição Animal. Ambos os cursos, de graduação e de pós-graduação, foram instalados no Departamento de Zootecnia da UFRPE. A primeira dissertação defendida no curso foi na área de concentração de Forragicultura, intitulada "Determinação de fitomassa aérea disponível ao acesso animal em Caatinga pastejada, região de Ouricuri", a qual foi defendida em 1985 pelo Pesq. Guilherme Ferreira da Costa Lima.

Em 1981, ainda muito jovem, início minha relação de amor com a UFRPE e com a Zootecnia, como estudante de Graduação em Zootecnia. Nossas aulas do ciclo básico eram no prédio central e as do ciclo profissionalizante na Granja, como era conhecido o Departamento de Zootecnia.

Em 1986, início o curso de mestrado em Nutrição Animal, área de concentração Forragicultura, defendendo em março de 1989, a dissertação intitulada "Composição química, armazenamento e avaliação da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill. e *Nopalea cochenillifera* Salm. Dick.) na produção de leite em Pernambuco", primeira

dissertação com palma forrageira do curso, e provavelmente, uma das primeiras do país, a qual foi orientada pelo Prof. Mário de Andrade Lira.

O programa, atualmente denominado Programa de Pós-graduação em Zootecnia, desde sua criação, até os dias atuais, defendeu 440 dissertações e 63 teses, em temas relevantes para o estado e para região.

Em outubro de 1991, inicia um novo ciclo da minha relação com a UFRPE, agora como professora do Departamento de Zootecnia, e desde do inicio, com grande interesse por pesquisa (Figura 2).

Figura 2. Professoras Antônia Sherlanea Verás e Mércia Virginia F. dos Santos, Zootecnista Everaldo Barbosa, estudante de Zootecnia Anastácia Brandão (atualmente Profa. Anastácia da UFRPE-UAST), estudante de Zootecnia Carlos Henrique Vilarim, além de trabalhadores de campo. Fazenda Experimental da Empresa de Pesquisa do Estado de Alagoas, União dos Palmares, 1991.

Desde então, até os dias atuais, quando a UFRPE completa 111 anos (Figura 3) e o Departamento de Zootecnia 53 anos, o meu amor por essa instituição só aumenta, podendo ser testemunha do crescimento dessa universidade nas diferentes áreas, com formação de recursos humanos que contribuem para melhorias sociais e econômicas para nosso estado, região, pais e o mundo.

Figura 3. Prédio Central da UFRPE, Dois Irmãos, Recife-PE, Brasil.
Autor: Fernando Azevedo.

Bibliografia consultada

Universidade Federal Rural de Pernambuco. In: https://www.ufrpe.br/br/content/memoria. Acesso em 17 de setembro de 2023.

01

As Pastagens e a Produção Animal no Brasil

José Neuman Miranda Neiva[1]

Introdução

Há uma afirmação quase histórica no meio pecuário brasileiro, em que se diz que o Brasil foi conquistado "na pata do boi". Esse ditado precisa ser considerado com algumas ressalvas, pois o país passou por vários ciclos de desenvolvimento. É inegável, contudo, que a formação de pastagens para produção animal foi a ferramenta mais importante para interiorização da população no Brasil.

A partir da década de 1970, ocorreu significativo aumento nas áreas de pastagens, decorrente de forte política do regime militar no sentido "colonizar" o interior do Brasil. O lema era "integrar para não entregar", com considerável incentivo financeiro, juros subsidiados e estímulo à remoção de florestas e incorporação de novas áreas ao sistema produtivo.

Dentro desse contexto, a formação de pastagens e expansão do rebanho de gado de corte foi ao longo dos anos sendo associada ao desmatamento, extrativismo, baixa eficiência produtiva e, principalmente, a danos ambientais.

[1] Professor da Universidade Federal do Norte do Tocantis, Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia, BR-153, km 112, s/n° Caixa Postal 132, CEP: 77804-970, Araguaína-TO, email: araguaia2007@gmail.com

Neste capítulo, será discutido os aspectos práticos da exploração das pastagens no Brasil, bem como serão tecidos comentários sobre os capítulos subsequentes do livro.

A dimensão da produção animal a pasto

Nos últimos anos, em função de certa demanda por carnes ditas especiais e oriundas de sistemas mais intensificados, tem sido divulgado que a produção de carne a partir de tais sistemas tem aumentado ano após ano.

No último Anual Report (ABIEC, 2023) publicado pela ABIEC, cita-se que 6,3 milhões de toneladas de carne bovina, de um total de 43 milhões de toneladas, foram produzidas em confinamento no Brasil. Na publicação, assume-se que a carne oriunda de confinamento no Brasil representa 14% do total produzido anualmente. Analisando por esse lado, claramente observamos que as pastagens começariam a perder importância hegemônica como principal origem da carne brasileira.

No entanto, uma análise mais criteriosa desses dados, nos leva a concluir que essa informação é improcedente, pois na verdade, a quantidade de carne produzida em confinamento é bem menor. Nas verdade, quando os animais são levados ao confinamento, já pesam em média 420 kg de peso corporal e são abatidos, em média com 540 kg. Dessa forma, podemos entender que do total do peso corporal ao abate (540 kg), apenas 120 kg foram efetivamente produzidos em confinamento, o que corresponde a 22% do peso total do animal. Dessa forma, precisa ser esclarecido que, do total de carne considerada como sendo oriunda do confinamento, 68% foi produzida, de fato, a pasto.

A produção de carne x Desmatamento

Um dos grandes mitos que são propagados pelo mundo afora é sobre a expansão da pecuária brasileira, a partir de desmatamento e abertura de novas áreas.

Vários dados produzidos pelo LAPIG-MapBiomas demonstram que as áreas de pastagens cultivadas cresceram até o ano de 2006, atingindo 165,5 milhões de hectares e, em seguida apresentaram forte declínio, atingindo o valor de 156,5 milhões de hectares.

No entanto, o que chama a atenção é que em várias regiões o percentual de pastagens degradadas diminuiu sensivelmente. No entanto, o que se reproduz para o público em geral é que as áreas de pastagens estão em franca expansão. O sentimento

de que as pastagens são uma ameaça ambiental está enraizado principalmente no meio digital.

Para nos certificarmos dessa suspeita, utilizamos o ChatGPT e solicitamos um texto de 100 palavras sobre "Pastagens e meio ambiente" e obtivemos o seguinte texto: *"As pastagens têm impactos ambientais significativos. A conversão de áreas naturais em pastagens resulta na perda de biodiversidade e na invasão de espécies exóticas. O pisoteio constante do gado e a remoção da cobertura vegetal podem causar erosão do solo, prejudicando a qualidade e a fertilidade do mesmo. Além disso, uma supervisão intensiva de pastagens pode esgotar os recursos hídricos locais, afetando ecossistemas aquáticos. A peculiaridade é também uma fonte relevante de emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para as mudanças climáticas. Para mitigar esses impactos, práticas de manejo sustentável e conscientização são essenciais"* (https://chat.openai.com/c/3ace8ed9-6f01-4bdd-b7ec-50c4444ac2ab).

Como podemos ver, muito precisa ser feito para que possamos entender todos os benefícios das pastagens para o meio ambiente. Por isso, a compreensão de processos básicos apresentados nos capítulos citados a seguir, é essencial para explicarmos para o meio produtivo e, na medida do possível, para o público leigo.

Em todo livro, fotossíntese e respiração, processos vitais responsáveis pela vida no planeta, são tratados de forma que se possa buscar produtividade e resiliência nas pastagens. É importante que as pessoas entendam, que o crescimento das plantas forrageiras, se dá via sequestro de carbono, que aliado ao bom manejo do pastejo, pode gerar um saldo positivo de incorporação de dióxido de carbono ao sistema.

As pastagens como ferramenta de equilíbrio ecológico

As pastagens são consideradas no meio técnico-científico como uma importante ferramenta para se manter sistemas estáveis e em equilíbrio ao longo dos anos. O manejo correto das pastagens, visando maior resiliência e produção sustentável, demanda que conheçamos a fundo os princípios explorados no capítulo 2 desse livro: ***"Fatores Ecológicos na Produção e Qualidade Vegetal"***.

Dentro dos princípios ecológicos, a busca por espécies adaptadas às condições de uso das plantas forrageiras é fator preponderante. Ao longo dos anos, novos desafios surgem e junto com tais desafios, melhoristas vegetais tem se debruçado e usado cada vez mais ferramentas para se obter plantas mais adaptadas. No capítulo 3, o tema ***"Melhoramento Genético de Forrageiras Tropicais"*** é tratado com a devida profundidade, buscando trazer à luz da ciência quais as alternativas possíveis para

as pastagens brasileiras. A realidade atual é de uma avalancha de novos híbridos sendo derramados no mercado e, muitas vezes, sem o devido estudo de avaliação para os diversos ecossistemas em diferentes biomas. O leitor precisa dedicar seu tempo a esse tema que, adormecido por muitos anos, ressurge com muita força e com grande apelo comercial.

É importante ressaltar que não haverá uma espécie forrageira ou um híbrido que supere todos os desafios ambientais. Faz se necessário conhecer os fatores ecológicos que atuam sobre a produção e qualidade das plantas forrageiras para que, não havendo opções de manejo para otimizar a produção, se busque alternativas de plantas forrageiras melhoradas.

Pastagens para Produção Animal Sustentável

O termo sustentável tem dominado todos os campos da produção animal nos tempos atuais. Antes tido como um modismo, possivelmente passageiro, atualmente é palavra de ordem inquestionável do ponto de vista econômico, social e ambiental. A produção sustentável, pela sua abrangência, na verdade torna a produção animal algo lógico e imprescindível para a humanidade.

Dada a sua importância e caráter multifatorial, a produção animal a pasto demanda conhecimentos que iniciam no entendimento dos processos de ***"Morfogênese de Plantas Forrageiras Tropicais"***, ciência abordada com detalhes no capítulo 4 do livro e que nos permite entender as adaptações e plasticidade das plantas forrageiras frente aos desafios edafoclimáticos.

Como dito anteriormente, cultivar plantas forrageiras é buscar a adaptação aos mais diversos sistemas de produção. É sabido que o sucesso da produção animal em pastagens tropicais depende da perenidade das mesmas. Assim sendo, os cuidados e procedimentos durante a ***"Formação e Manejo de Pastagem e Capineira"*** precisam ser tratados como o alicerce de todo o sistema de produção a pasto. Esse tema é tratado no capítulo 5 e busca informações em vários capítulos do livro como no capítulo 6 que trata da ***"Irrigação de Pastagens",*** ferramenta mais que importante para superar os desafios da estacionalidade de produção das plantas forrageiras no mundo tropical.

No entanto, quando falamos em produção animal sustentável à pasto, o tema central para a realidade brasileira é a ***"Adubação de Pastagens Tropicais",*** assunto explorado no capítulo 7. Embora não seja razoável classificar assuntos como mais ou menos importantes, dentro do livro ora apresentado, não é demais pontuar

problemas históricos sobre a exploração animal a pasto. No Brasil, como dito no início desse capítulo, as pastagens foram usadas historicamente para ocupação de áreas desmatadas. Nessas condições, o preparo solo sempre foi negligenciado, incluindo a correção e adubação.

Enquanto, as outras culturas agrícolas foram avançando em adoção de tratos culturais, as áreas de pastagens foram mantidas sob forte processo de degradação e hoje são estigmatizadas como áreas que contribuem para os desequilíbrios climáticos e ambientais. No entanto, mesmo que com uma velocidade menor que o desejado, as áreas de pastagens degradadas estão diminuindo ao longo dos anos.

A diminuição das áreas de pastagens degradadas vem ocorrendo por inúmeros fatores, mas principalmente pelo fato de instituições de pesquisas e universidades estarem envolvidas em inúmeras frentes de investigação científica para buscar alternativas locais e que possam garantir a produção animal sustentável. Nesse sentido, o livro ora apresentado, no capítulo 8 retoma de forma técnica e científica discussões acerca do ***"Manejo de Pastagens Consorciadas".*** O uso de pastagens consorciadas por muito tempo, foi tratado como algo de difícil implementação e, para alguns mais radicais, como algo impossível. No entanto, o Brasil é um país continental e as diferenças climáticas e aprimoramento de práticas de manejo do pastejo tem apresentado opções interessantes sobre o uso de pastagens consorciadas.

É preciso que os técnicos e produtores passem a assumir que dentro do ambiente de exploração da produção animal, não se pode abraçar uma tecnologia em detrimento de outras. O sistema de integração de sistemas nos faz raciocinar de forma holística e buscando aproveitar todas as possibilidades locais. Assim sendo, o livro traz no capítulo 9 abordagem específica sobre ***"Pastagens Nativas em Diferentes Ecossistemas".*** Em todos os biomas brasileiros, há extensas áreas de pastagens nativas que, na sua esmagadora maioria, é sub explorada e, muitas vezes, são substituídas por pastagens cultivadas. Ocorre que nem sempre as gramíneas exóticas suportam o desafio ambiental a que as pastagens nativas estão adaptadas ao longo dos anos. Soma-se a isso, o fato das pastagens nativas apresentarem uma diversidade florística que flexibiliza seu uso ao longo das várias estações do ano. O capítulo 9 deve ser lido com o carinho que o tema exige, pois manejar pastagens nativas é produzir de forma sustentável e com impactos mínimos.

Suplementação Alimentar de Animais em Pastagens

Um dos temas que mais evoluíram dentro dos estudos das pastagens, foi a suplementação alimentar dos animais. Ao longo dos últimos 40 anos, a suplementação alimentar via alimentos concentrados ou mesmo volumosos andou ao par com as novas estratégias do manejo pastejo.

Parece consenso que manejar bem as pastagens é uma condição essencial para se obter maiores ganhos com a suplementação alimentar e, por sua vez a suplementação alimentar é aliada imprescindível para que se obtenha melhores respostas na adequação do manejo do pastejo.

O livro traz um capítulo permeado de muita lucidez científica, onde mostra a suplementação como ferramenta para sustentabilidade econômica, mas principalmente como ferramenta de manejo ambiental, mitigando emissão de gases de efeito estufa.

O capítulo 10, ***"Suplementação e Pressão de Pastejo em Pastagens Tropicais",*** em boa hora, brinda os leitores com uma análise multifatorial dessa importante ferramenta de manejo das pastagens. É importante os leitores entenderem que o manejo equivocado de pastagens não pode usar a suplementação como uma "muleta" e, por sua vez, a prática da suplementação deve ser apresentada como ferramenta para otimizar o uso das pastagens.

Os ecossistemas de pastagens

Nos últimos anos, as pastagens passaram a ser apresentadas como uma ferramenta importante para o manejo sustentável. Dentro desse novo olhar do mundo científico, as pastagens, sejam elas nativas ou cultivadas, estão saindo da posição de vilã, posição ainda vista por leigos, para a situação de fornecedora de ***"Serviços Ecossistêmicos em Pastagens Tropicais"*** conforme pode ser visto no capítulo 11.

Os serviços ecossistêmicos serão cada vez mais explorados frente aos novos desafios das mudanças climáticas. Assim sendo, o estudo das pastagens passam a englobar inúmeros temas como ***"Serrapilheira e Produção de Raízes em Pastagens Tropicais"*** que no capítulo 12 são apresentadas como importantes ferramentas para o enriquecimento dos sistemas e como sequestro de carbono. Nos últimos anos, as pastagens deixaram de ser analisadas pela exuberância da massa forrageira sobre a superfície do solo, para ser analisada com igual interesse para o que esses sistemas produtivos acumulavam de carbono, nitrogênio e outros minerais.

Dentro do contexto do equilíbrio ecológico, o capítulo 13 trata de um dos temas mais polêmicos no manejo de pastagens nativas, que é o uso do fogo em

ambientes pastoris. Nesse tópico, ***"Fogo como Ferramenta de Manejo em Pastagens Nativas"*** são apresentadas as várias faces da ocorrência de queimadas em áreas de pastagens nativas. As pastagens nativas são eventualmente submetidas às queimadas e o capítulo 13 apresenta vantagens e desvantagens do seu uso.

A cada ano que passa, novas ferramentas de avaliação são desenvolvidas para otimizar as análises em estudos cada vez mais sofisticados em áreas de pastagens. Dessa forma, o capítulo 14 se propõe a apresentar os ***"Métodos para Avaliação de Pastagens e Plantas Forrageiras"*** que constitui ferramenta importante para avaliação das pastagens em suas mais variadas condições e ambientes.

Nos anos recentes, o uso de ***"Sistemas Integrados em Pastagens Tropicais"*** tem se tornado uma realidade (capítulo 15). Em várias condições de uso, esses sistemas integrados, onde a pecuária é associada com lavoura e/ou florestas, estão se tornando uma realidade. O livro traz uma ampla revisão sobre o tema e mostra aos leitores o estado da arte nesse tema e descortina novas oportunidades de desenvolvimento de pesquisas futuras.

As Pastagens em Sistemas não Convencionais

O uso das pastagens no mundo tropical tem passado por inúmeras mudanças. Inegavelmente, as oportunidades de exploração de serviços ecossistêmicos em áreas, antes tidas como inapropriadas, tem sido uma rotina.

Os quatro últimos capítulos do livro discutem temas que passaram a ter grande relevância para a produção animal nos últimos anos. Um tema que foi devidamente revisitado nessa obra foram ***"Os Taninos em Plantas Forrageiras"***. Para estudos de plantas nativas como recursos forrageiros, entender as vantagens e desvantagens da presença de taninos é de suma importância.

Outro tema de extrema relevância e atual é a questão da ***"Fixação de Nitrogênio em Plantas Forrageiras"***. Nos últimos anos, a fixação de Nitrogênio em gramíneas vem sendo perseguida com afinco e grandes avanços foram obtidos. O impacto ambiental do uso de adubos nitrogenados vem sendo constantemente apontado como um dos mais nocivos ao meio ambiente. Assim, em boa hora o livro disponibiliza aos leitores o estado da arte desse importante tema e, principalmente, as possibilidades de uso em condições de campo.

Para finalizar a obra, dois temas pouco difundidos são apresentados aos leitores. O primeiro trata do uso das ***"Pastagens na Alimentação de Não Ruminantes".*** Esse tema nos oportuniza enxergar as pastagens para além dos ruminantes. A cada ano que passa, a busca por produções alternativas e em condições naturais tem ampliado o uso das pastagens.

Por fim, completando a obra, o leitor terá a oportunidade de conhecer o trabalho ecologicamente essencial para as plantas forrageiras e que é realizado pelos ***"Visitantes Florais em Plantas Forrageiras Tropicais"***. Nesse capítulo, é possível entender a importância de práticas com uso mínimo de insumos, como manejo integrado de pragas, controle biológico e tantas outras menos agressivas ao meio ambiente. Esse capítulo é um convite para o leitor conhecer a biodiversidade dos ecossistemas de pastagens.

Considerações Finais

A produção à pasto tende a crescer à medida que o bem-estar animal é cobrado pelos consumidores mundo afora e, com mais ênfase ainda, o mundo cobra uma produção sustentável e com baixos impactos ambientais.

Atender tais demandas, só será possível com uso de conhecimentos das mais diversas áreas e o acompanhamento de novas tecnologias, que surgem a todo momento.

Referências

ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Beef Report: Perfil da pecuária no Brasil 2023.Disponível em: https://www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2022/

MAPBIOMAS. **MapBiomas: Atlas das pastagens.** Disponível em: https://lapig.iesa.ufg.br/p/38972-atlas-das-pastagens.

02

Fatores ecológicos na produção e qualidade de plantas forrageiras

Mércia Virginia Ferreira dos Santos[1]
Ana Maria Herrera Angulo[2]
Ana Claudia Ruggieri[3]
Natália Viana da Silva[4]
Williane Patrícia da Silva Diniz[4]
Camila Eduarda Souza de Sousa[3]

Introdução

As pastagens representam aproximadamente 26% do total das terras e 80% das terras agrícolas produtivas, sendo sua grande maioria em países tropicais. As pastagens e plantas forrageiras representam o principal alimento para os animais, sendo uma alternativa que contribui para redução dos custos do sistema produtivo.

Ecossistema por si só, é uma unidade natural constituída de fatores abióticos e bióticos que se relacionam ou interagem entre si, formando um sistema estável.

[1] Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco. Bolsista do CNPq.
[2] Universidad Nacional Experimental del Táchira. Táchira, Venezuela.
[3] Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, São Paulo.
[4] Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco. Bolsista FACEPE.

No entanto, os ecossistemas de pastagens diferem em complexidade de outros ecossistemas agrícolas nos quais, geralmente, apenas a cultura e as plantas daninhas são os principais componentes do sistema. A interação ente os seres vivos e o meio ambiente são aspectos relevantes nos sistemas de produção animal, tendo em vista as variações entre espécies forrageiras e como os fatores ecológicos atual no desenvolvimento dessas plantas, devendo ser o objetivo do técnico obter altas produções animais com menor impacto ambiental.

A produção de forragem é afetada por diferentes fatores abióticos e bióticos, sendo a interação entre esses fatores aspecto relevante na produção e qualidade apresentada pelo pasto. Tais fatores (Figura 1) variam nas diferentes regiões do país e ao longo dos meses e de forma isolada ou suas interações (Figura 2) devem ser consideradas para um manejo adequado da pastagem.

Os fatores ecológicos em um ecossistema de pastagens podem afetar o crescimento da planta forrageira, seja beneficiando ou limitando o seu desenvolvimento, assim como a presença do animal. Na composição do ambiente de pastagem ocorre influência do sombreamento no desenvolvimento do pasto e o efeito do pastejo do animal, além da influência de fatores como luz, água e a topografia (Figura 2).

O presente capítulo, objetiva apresentar alguns fatores ecológicos e seus efeitos na produção e qualidade da forragem produzida.

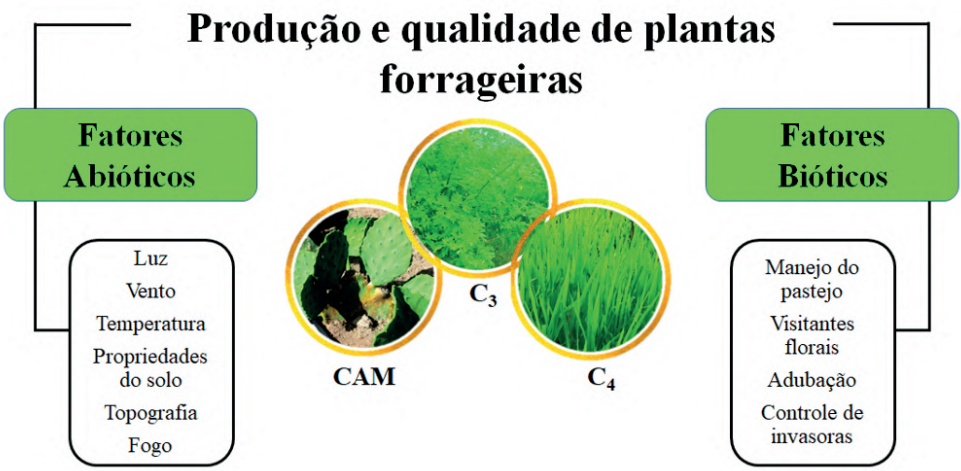

Figura 1. Fatores ecológicos que afetam a produção e qualidade de plantas forrageiras.

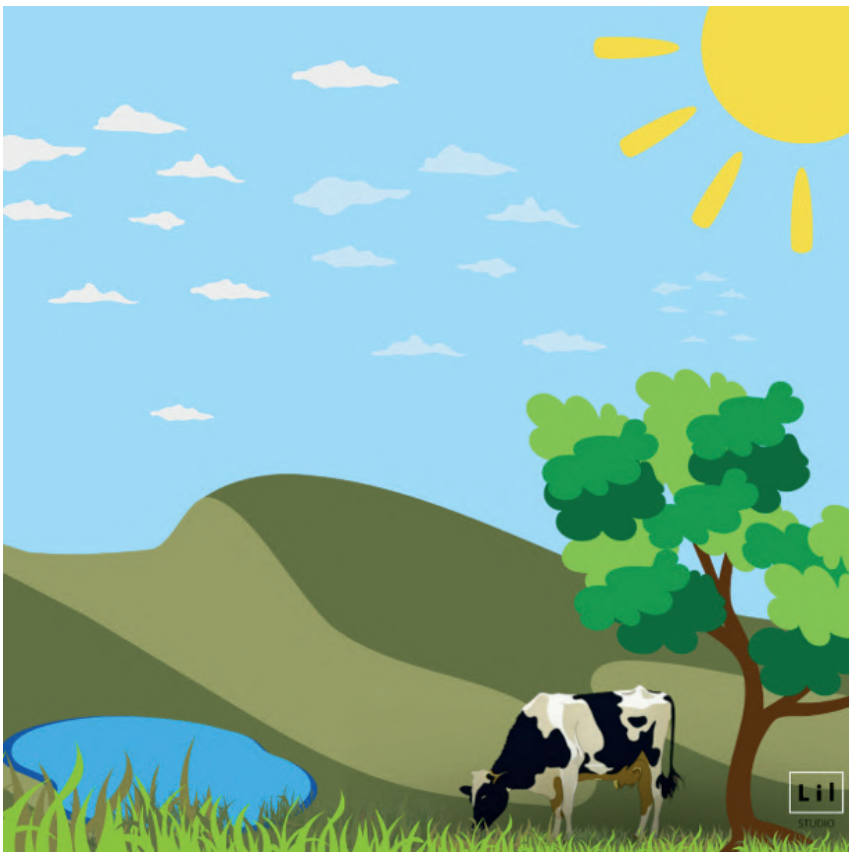

Figura 2. Interações entre fatores bióticos e abióticas que influenciam as plantas forrageiras e a sustentabilidade dos sistemas de produção animal.

Fatores abióticos

Água

A água encontra-se distribuída no planeta em um volume considerado constante, estimando-se que 97,5% da água existente no mundo seja salgada, e apenas 2,5% de água doce (ANA, 2023) deste valor, em torno de 70% está concentrada em geleiras, 30% no subsolo (aquíferos), e apenas 0,3% de água doce localizada em mananciais superficiais (Augusto et al., 2012).

Dentre os fatores abióticos, o estresse hídrico é um dos principais fatores ambientais limitantes para o desenvolvimento forrageiro (Schippers et al., 2015). Plantas de metabolismo C_3, C_4 e CAM apresentam eficiência no uso da água (EUA) bem distintas, as plantas C_3 tem EUA variando de 1 a 3 g de CO_2 fixado por kg de H_2O transpirada, nas C_4, essa EUA varia de 2 a 5 e nas CAM de 10 a 40 (Hatfiel e Dold, 2019).

A água é um elemento essencial na regulação da abertura estomática. A abertura estomática ocorre por meio da ativação dos transportadores da membrana plasmática, resultando no acúmulo de solutos nas células-guarda e, consequentemente, no movimento de água para o interior das células, o que aumenta o seu turgor, levando à abertura do poro (Heinen et al., 2014). Em contraste, sob condições de estresse hídrico, a diminuição do turgor impulsionada osmoticamente restaura o estado inicial fechado, reduzindo a abertura estomática em função de manter alto potencial hídrico interno da folha (Rivas et al., 2016), influenciando a fotossíntese, fluxo de vapor d'água e trocas gasosas pela planta (Harrison et al., 2020).

A disponibilidade de água no solo contribui de forma direta para a absorção de nutrientes pelas raízes, por conseguinte melhorando a capacidade fotossintética e a produção vegetal (Chen et al., 2017). No Brasil, a distribuição dos recursos hídricos se apresenta de forma desigual (Câmara, 2009), sendo a água um recurso ambiental diretamente afetado pelas mudanças climáticas e ações antrópicas. A região semiárida brasileira é caracterizada pelos baixos índice pluviométricos, irregularidade na distribuição da precipitação e elevada temperaturas diurnas, sendo importante a caracterização e compreensão da necessidade da água nas culturas forrageiras cultivadas nesta região.

A disponibilidade hídrica são um dos fatores que favorecem o desenvolvimento vegetal, observando-se uma relação entre a disponibilidade de água para a cultura e a brotação de novas gemas. Avaliou-se características produtivas e eficiência no uso da água da Palma forrageira cv. Gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill) sob combinações de diferentes lâminas e intervalos de irrigação com água salina (Fonseca et al., 2019). Foi observado que a produção de matéria seca apresentou 85,51% de rendimento no segundo ciclo, com uso de irrigação nas condições de aplicação de água de 33% ETo com intervalo de 3 dias, 50% ETo com intervalo de 2 dias e 100% ETo com irrigação diária, quando comparado a situação de sequeiro, sendo a maior produção também associada a maior eficiência no uso de água observada.

O manejo influência no desempenho da cultura forrageira, em principal na utilização do recurso hídrico, estudo de Lima et al. (2018a) avaliaram o consórcio da Palma cv. Orelha de Elefante Mexicana [*O. stricta* (Haw.) Haw.] com Sorgo forrageiro [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] e diferentes lâminas de irrigação sobre

uso de água. Verificou-se que valores mais baixos de matéria seca de 80,0 e 66,2 g para monocultura e consórcio, respectivamente, na lâmina d'água de 1096 mm ano^{-1} (média de 703 mm ano^{-1} + chuva de 393 mm ano^{-1}), relacionando a influência do estresse hídrico no crescimento de cladódios, por outro lado a adoção do consórcio favorece um incremento na eficiência de utilização da água, no qual atingiu 18,9 ± 7,4 kg de MS/ha/mm, sendo superior ao monocultivo com 8,4 ± 3,4 kg de MS/ha/mm.

O déficit hídrico observado em longos períodos de seca, permitem a observação da redução das atividades fisiológicas da planta (Cavalcante et al., 2009), sendo este um dos principais fatores na redução das taxas de fotossíntese e transpiração, como estratégia da planta em utilizar a limitada quantidade de água que possui para evitar a seca e tenta fechar seus estômatos para evitar a perda de água (Fateh e Toube, 2021). Podendo influenciar na modificação de estruturas morfológicas e fisiológicas da planta forrageira (Cardoso et al., 2015; Silva et al., 2020a). O tempo de déficit influencia negativamente na produção de massa seca de folhas (Figura 3A) e caules (Figura 3B), sendo variáveis importantes para determinar o fornecimento de nutrientes e estabelecimento de manejo para gramíneas forrageiras (Souza et al., 2021), considerando a alta relação folha:colmo confere maior qualidade nutricional a planta forrageira e maior aceitabilidade animal.

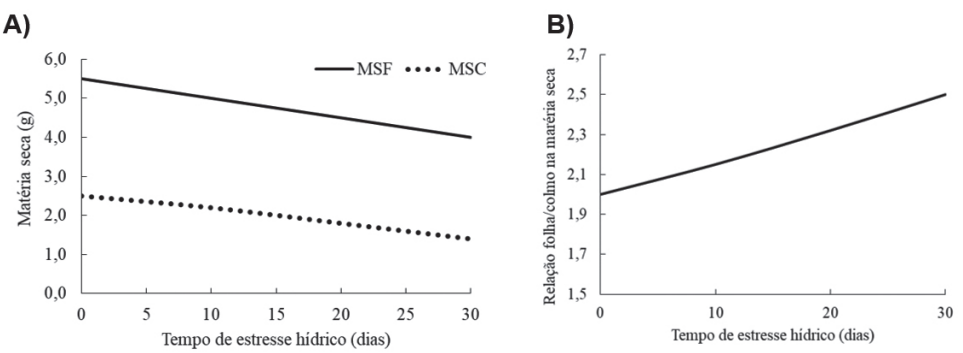

Figura 3. (A) Produção de massa seca de folhas (MSF) (g) e caules (MSC) (g); (B) Relação folha/caule (MSF/MSC) de *Urochloa* spp. sin. *Brachiaria* spp. em função do tempo de estresse por deficiência hídrica (0, 10, 20 e 30 dias).

Fonte: Adaptado de Souza et al. (2021).

Sob condições de restrição hídrica, respostas das plantas podem ocorrer em função da redução na absorção de carbono pela limitação das trocas gasosas quando

do fechamento dos estômatos, e pela limitação da fotossíntese, devido à redução na concentração de clorofila, uma vez que ocorre também redução do nitrogênio absorvido, nutriente responsável pelo aumento na produção de proteínas e outros compostos nitrogenados.

A proteína bruta e a digestibilidade da forragem são maiores em condições de umidade, enquanto a fibra e a lignina são mais altas nos períodos de maior restrição hídrica (Hughes et al., 2014). Vale ressaltar, que, a seca frequentemente reduz o rendimento, a qualidade da forragem e a produção de biomassa.

Habermann et al. (2018a), avaliando o efeito do déficit hídrico na qualidade da forragem de *Megathyrsus maximus* Jacq., observaram que as condições de déficit hídrico reduziram a produção de biomassa de folhas secas e o teor de proteína bruta foliar, e aumentou o teor de fibra em detergente ácido (FDA), fibra em detergente neutro (FDN) e teor de lignina, resultando em uma diminuição significativa na digestibilidade da matéria seca.

Luz

A Luz é uma importante fonte de energia para as plantas e desempenha um papel crucial na síntese de nutrientes e biomassa durante a fotossíntese. Em gramíneas forrageiras, a capacidade de capturar luz solar e convertê-la em energia química é um fator determinante de sua capacidade de crescer e produzir alimento de qualidade para o animal.

A luz é um fator abiótico que afeta diretamente a fotossíntese da planta forrageira, e consequentemente influência na produção de forragem, considerando que a quantidade de energia luminosa requeria pelas plantas para o seu desenvolvimento é variável e age diretamente na produção fotossintética (Decker et al., 2011). Além disso, a luz afeta outros processos fisiológicos, como abertura dos estômatos, regulação do crescimento das raízes, e produção de compostos secundários (Murad et al., 2021).

Em forrageiras, a luz é o principal estímulo para a fotossíntese, influenciando diretamente a produção de açúcar e oxigênio. A intensidade, comprimento de onda e duração da luz são os determinantes da eficiência fotossintética. A luz também afeta a alocação de recursos, direcionando a produção de carboidratos para diferentes partes da planta. De acordo com Silva et al. (2015), a luz e a temperatura afetam processos envolvidos no crescimento e desenvolvimento das plantas. Em condições ótimas de clima e solo, plantas do tipo C_3 possuem eficiência máxima de conversão de energia solar em biomassa estimada em 4,6%, enquanto plantas C_4 convertem

6% da energia (Cardona et al., 2018; Pinto e Sá, 1989). Quando privadas desse fator abiótico, a planta forrageira apresenta menor conversão de energia, e redução do seu desenvolvimento (Silva et al., 2015), afetando diretamente a produtividade.

As Fabaceae são fisiologicamente mais adaptadas a condições de pouca luz devido ao mecanismo fotossintético $C_{3,}$ quando comparadas às gramíneas tropicais (C_4), portanto, sua produção de forragem pode ser menos afetada em ambientes sombreados (Lista et al., 2019).

O sombreamento tem influência nas características morfológicas da planta forrageira, considerando que a reposta ao sombreamento são folhas maiores e copas mais altas, em função de aumentar a absorção de luz incidente, sendo o estiolamento uma resposta considera comum, aumentando a capacidade da planta de captar luz (Paciullo et al., 2017; Cruz et al., 2020) (Tabela 1).

Tabela 1. Efeitos do sombreamento na produção de forragens

Espécie	Tratamento	PMS (kg/ha)	Fonte
Arachis pintoi	Sem sombreamento	11.060	Lista et al. (2019)
	Com sombreamento	8.520	
Urochloa decumbens cv. Basilisk	Sem sombreamento	2.867	Gobbi et al. (2009)
	Com sombreamento	2.150	
Megathyrsus maximus (*Panicum*	Sem sombreamento	6.232	Van Cleef et al. (2021)
maximum) cv. Massai	Com sombreamento	3.890	

A menor incidência de luz reduz a produtividade das plantas, embora a extensão dessa redução, varie de acordo com a espécie e o estágio de privação da cultura. A luz reduzida também influencia a composição química dos tecidos foliares, incluindo o conteúdo da parede celular. Forrageiras expostas a níveis ideais de luz tendem a ser mais ricas em proteína bruta, minerais e vitaminas, resultando em uma alimentação mais nutritiva para o animal (Ahmed et al., 2023). A luz pode afetar ainda a relação ente componentes estruturais como lignina e celulose, e nutrientes como proteína e energia, afetando a digestibilidade e utilização dos alimentos. Angadi et al. (2022) observaram que o sombreamento, afetou a adaptação agronômica, morfológica e o valor nutritivo das leguminosas forrageiras Lablab (*Dolichos lablab* (L), feijão-pombo (*Cajanus cajan* (L.) Mill sp., caupi (*Vingna unguiculata* (L.) Walp., feijão-de-lima (*Phaseolus limensis* L.), feijão de polo (*Phaseolus vulgaris* L.). O teor de PB foi reduzido pelo sombreamento em todas as leguminosas, exceto feijão-caupi. O teor de fibras (FDA e FDN) e a digestibilidade da FDN e da matéria seca, também foram afetados pelo sombreamento (Tabela 2).

Tabela 2. Efeito do sombreamento no teor de proteína bruta (PB), fibra em detergente ácido (FDA), fibra em detergente neutro (FDN), digestibilidade da FDN (DIVFDN), digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS)

Leguminosa	Tratamentos	PB	FDA	FDN	DIVFDN	DIVMS
				g kg $^{-1}$ MS		
Caupi	Sombreado	167	391	416	540	808
	Luz plena	204	375	408	565	821
Lablab	Sombreado	172	366	399	553	788
	Luz plena	130	372	437	513	822
Feijão-de-lima	Sombreado	176	385	419	553	769
	Luz plena	129	395	452	490	812
Feijão-pombo	Sombreado	140	396	459	448	822
	Luz plena	131	392	456	433	825
Feijão de polo	Sombreado	183	346	357	503	746
	Luz plena	146	360	363	523	741

Fonte: Angadi et al. (2022).

Para maximizar o crescimento e a qualidade da forragem é fundamental o manejo adequado de luz visando otimizar o crescimento e qualidade da forragem. Para aumentar a exposição à luz solar, estratégias como ajuste da altura de pastejo, rotação de pastagem, e escolha de espécies adaptadas às condições de luminosidade podem ser utilizadas.

Nutrientes no solo, pH

O pH e os nutrientes do solo são fatores cruciais que afetam a sanidade e a produtividade das forrageiras. Para apoiar seu crescimento e desenvolvimento, as plantas precisam de uma variedade de nutrientes essenciais, como macronutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio, bem como micronutrientes como ferro, zinco e manganês (Toor et al., 2021).

Além disso, o pH do solo, que mede sua acidez ou alcalinidade, tem papel crucial na disponibilidade e absorção de nutrientes pelas plantas. A sustentabilidade e a produtividade das pastagens estão associadas a mantença da fertilidade do solo, de forma racional, com a reposição de minerais e manejo (Silveira e Kohmann, 2020). Fatores como fertilidade e estrutura do solo são limitantes ao crescimento das

plantas, quando também associado a outros fatores (Tabosa et al., 1990), sendo o valor nutritivo das plantas forrageiras influenciado pela disponibilidade dos nutrientes no solo.

Os nutrientes essenciais são absorvidos pelas raízes e desempenham importante papel em processos fisiológicos, como a síntese de proteínas. Os nutrientes influenciam diretamente sobre a produção de matéria seca das plantas forrageiras, e o nitrogênio é crucial para o desenvolvimento foliar e crescimento vegetativo. A utilização de adubação nitrogenada favorece o desenvolvimento do Capim-buffel (*Cenchrus ciliares* L.) em regiões semiáridas, incrementando a produção de parte área e de raiz, segundo Medeiros e Dubeux Júnior (2008), o uso da dose de 480 kg de nitrogênio por hectare, aumentou 276% a produção de massa seca, quando comparado ao tratamento sem fertilizante, contribuindo também para o aumento na eficiência do uso de água.

A adubação fosfatada, por sua vez, contribui para a produção de raízes, como demonstrado em estudos, revelou-se um efeito linear positivo de doses de nitrogênio combinado com fósforo sobre a produção de matéria seca e de raízes do *Megathyrsus maximus* Jacq. cv. Tanzânia, sendo 3,2 vezes maior do que o tratamento sem aplicação de fósforo (Patês et al., 2008). O sistema radicular contribui para a maior capacidade de absorção de água e nutrientes pela planta.

A deficiência de nutrientes ocorre pela falta da reposição dos mesmos, ou por fatores que possam limitar a absorção de nutrientes pelas plantas. O pH do solo influencia a qualidade da forragem e o crescimento das plantas, pois a disponibilidade de nutrientes e a exposição a elementos tóxicos no solo são controladas pelos valores de pH do solo (Melo et al., 2022). A disponibilidade de nutrientes, quando influenciada pelo pH do solo, afeta a solubilidade e a mobilidade dos constituintes do solo (Penn e Camberato, 2019). Mesmo quando os nutrientes estão presentes no meio, um nível de pH inadequado pode causar deficiências nutricionais. Portanto, o manejo adequado do pH é crucial para garantir a absorção efetiva dos nutrientes pelas plantas.

Temperatura

A temperatura é reconhecida como o fator abiótico que mais limita a produtividade vegetal, influenciando no aumento da demanda evaporativa e intensificando os efeitos do déficit hídrico, quando acima da temperatura ótima de crescimento (Boyer, 1982). Assim mudanças nas temperaturas podem interferir no ciclo circadiano, impactando na abertura estomática, na atividade enzimática, na

fotossíntese e fenologia da planta (Hatflied e Prueger, 2015; Martinez et al., 2015; Srivastava et al., 2019).

A temperatura influencia a taxa de fotossíntese. Em geral, temperaturas mais altas tendem a aumentar a taxa de fotossíntese até um certo ponto, após o qual a atividade enzimática diminui (Moore et al., 2021). A distribuição de recursos entre as diversas partes da planta, como folhas, caules e rizomas, é afetada pela temperatura, que tem impacto na produção de biomassa e nutrientes (Hassan et al., 2021). É essencial ter um ambiente térmico adequado para maximizar a eficácia da fotometria e a utilização de recursos.

Como efeito de alteração na temperatura no desenvolvimento das plantas forrageiras, pode-se citar a produção de folhas mais finas, cutículas mais espessas, e menores cilindros vasculares e células buliformes, quando acima da temperatura ótima de crescimento (Habermann et al., 2019b).

Em estudo realizado com cultivares de *Vigna unguiculata* L. (Feijão-caupi), se observou que as altas temperaturas, em torno de 29 a 32°C, influenciaram no período de floração, aumentando o índice de perda de flores e diminuição da produção de vargens, sendo relacionado ao estresse calórico, influenciando nos processos físico-químicos (Angelotti et al., 2020). Mesmo com uso de irrigação, a temperatura é um elemento limitante ao desenvolvimento, pois a interação entre déficit hídrico e a alta temperatura pode atrasar ou inibir o desenvolvimento de botões florais, e consequentemente, redução na produção de sementes (Barros et al., 2022).

O aumento na temperatura estimula o crescimento das plantas, no entanto diminui as relações folha:caule e aumenta os teores de FDN, FDD e lignina (Lee et al. 2017). Comumente, as gramíneas tropicais de ambientes aquecidos têm uma menor digestibilidade associada a maiores fibras e menores teores de proteínas em comparação com gramíneas temperadas de regiões mais frias e úmidas (Nordheim-Viken et al. 2009; Lee, 2018).

Habermann et al. (2019b) observaram que o aquecimento de 2ºC sob umidade adequada do solo aumentou significativamente o rendimento de massa seca foliar em 25%, mas reduziu a qualidade da forragem, aumentando o teor de lignina e reduzindo o amido, a PB e a digestibilidade de pastagens tropicais C_4.

As gramíneas forrageiras possuem diferentes níveis de tolerância a diferentes faixas de temperatura. Algumas espécies são mais adequadas para climas quentes, enquanto outras prosperam em climas mais frios. Um fator fundamental para o sucesso da produção de forrageiras é a seleção de espécies adequadas à região e às condições climáticas locais. Além disso, técnicas de manejo como escolha da

época de plantio, podem ajudar a maximizar o desempenho das plantas em diversas condições climáticas.

Vento

O vento é um importante fator ambiental que afeta uma variedade de processos morfológicos e físicos em plantas forrageiras. Apesar de frequentemente ser subestimado, em comparação a outros fatores como luz e água, o vento desempenha um papel crucial na forma como as plantas se adaptam ao ambiente. O vento é considerado um fator ecológico de efeitos múltiplos sob a vegetação, caracterizado como o movimento do ar em relação a superfície terrestre, tendo importante influência nos aspectos ecofisiológicos das plantas (Ataíde et al., 2015), ao exemplo da influência nas trocas gasosas (Taiz e Zeiger, 2004).

A influência do vento no crescimento das plantas pode ocorrer por meio transpiração, da absorção de dióxido de carbono (CO_2) e pelo efeito mecânico ocasionado sobre a folhas e ramos (Resende e Resende Júnior, 2011). Segundo Whitehead (1957), as plantas podem reagir de maneiras diferentes a ação dos ventos, sendo classificada em três grupos: a) as plantas escapam à ação do vento, por ser plantas pequenas cujo crescimento se dá próximo ao solo; b) as plantas toleram os ventos, sejam por características físicas ou morfológicas; e c) as plantas sensíveis aos ventos, cuja altura da planta e produtividade de matéria seca diminuem com o aumento da velocidade do vento. O vento exerce forças mecânicas sobre forrageiras, causando alterações anatômicas semelhantes às que ocorrem em condição de seca, tendo como resposta adaptativa a formação de estômatos menores por unidade de área foliar, e maior elasticidade do tecido (Mitchell e Myers, 1995).

Na troca de gases entre as plantas e a atmosfera, o vento desempenha um papel crucial. Ele facilita a difusão de gases como oxigênio e dióxido de carbono, necessários para a fotossíntese e respiração. Além disso, o vento estimula a transpiração, processo pelo qual as plantas perdem água na forma de vapor. Contudo, se a taxa de absorção de água pelas raízes for menor que a taxa de transpiração, a planta desenvolve um déficit interno de umidade (Gregory, 1995) A absorção de nutrientes do solo e resfriamento das plantas dependem da transpiração. A movimentação do ar provocada pelo vento ajuda a dissipar o excesso de calor e regular a temperatura das folhas, evitando o superaquecimento e danos celulares (Holding e Streich, 2013).

O vento também é considerado um agente abiótico de dispersão de sementes eficaz, aumentando a probabilidade de sobrevivência, no entanto, a dispersão

pelo vento depende fatores como variações topográficas, respostas regulatórias e genéticas à pré-dispersão (Lopes et al., 2010).

O manejo da vegetação no entorno das pastagens pode ajudar a reduzir a exposição aos ventos fortes e reduzir os danos causados pelo vento, estimulando o crescimento saudável e produtivo das forrageiras.

Topografia

A topografia tem sido amplamente estudada em diferentes comunidades vegetais. Tanto na escala regional quanto local a topografia possui relevância em relação à heterogeneidade espacial da vegetação e do solo (Dearborn e Danby, 2017; Yuan et al., 2019). Esta diversidade é consequência da interação de fatores como radiação, temperatura, água e nutrientes (Dearborn e Danby, 2017) associados as características regionais e locais relacionadas à elevação (Figura 4), inclinação, e aspecto da variação topográfica (Bernards e Morris, 2017).

Figura 4. Fazenda Santa Bárbara (Táchira, Venezuela). Topografia de montanha. Altitude de 1800 msnm. Temperatura média de 18ºC. Pastejo de *Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone (fertilizado e irrigado).

Nas áreas de pastagens, a variação topográfica pode criar diferenças nas comunidades e associações de plantas (Bernards e Morris, 2017) que podem ter mais relação com o aspecto e ângulo de inclinação, do que com elevação topográfica. Nestas condições, a produção de forragem é produto principalmente da regulação

da energia solar, velocidade do vento e a disponibilidade de umidade e nutrientes (Dearborn e Danby, 2017; Sanaei et al., 2018). Embora, alguns autores reportem uma relação entre a inclinação da área e quantidade de forragem produzida, sendo que menor produção será obtida em elevações mais altas (Liu et al., 2021). Segundo Lozano-Parra et al. (2014), estas características fisiográficas não são apenas preditoras da produção de forragem, sendo que a distribuição do dossel também é importante. Estes autores concluíram que fundos de vale e áreas planas adjacentes a encostas, tendem a ter um teor de umidade do solo relativamente alto, favorecendo uma maior produção de pasto na área.

A topografia tem um papel crucial na distribuição de nutrientes e água no solo. A água tende a se deslocar rapidamente em áreas de declínio, o que pode causar alterações na superfície do solo, a exemplo da erosão em decorrência do escoamento. Áreas mais altas ou topo de morro podem apresentar drenagem excessivas, o que resulta na perda de nutrientes importantes. A maior exposição solar tende a atingir áreas mais altas, o que pode influenciar positivamente no crescimento das plantas e nas taxas de fotossíntese. Ao contrário, em partes baixas no declive, pode haver maior suscetibilidade a períodos de sombra, o que pode restringir a produção de biomassa e nutrientes. De forma geral, Méndez-Toribio et al. (2016) afirmam que maior carga de radiação, maior temperatura e evapotranspiração potencial podem comprometer o crescimento e a sobrevivência das plantas, porém concluem que não existe um padrão de variação topográfica, sendo que essas características não impõem uma relação clara nas estratégias de uso da água pelas plantas. Adicionalmente, destacam que a composição florística tem mais relação com a heterogeneidade ambiental gerada pela topografia, enquanto a estrutura e diversidade das comunidades foram mais fortemente afetadas pela atividade pecuária e umidade do solo, ambas por sua vez ligadas à posição topográfica.

Fogo

O fogo é um processo ecossistêmico dinâmico, geralmente previsível, mas incerto em seu tempo e ocorrência nas paisagens naturais (DeBano et al., 1998), que através do tempo foi reconhecido como fator ecológico natural, pela influência no desenvolvimento da vegetação em ecossistemas específicos, afetando a composição, estrutura e padrões de vegetação na paisagem (Neary e Leonard, 2020). Em áreas de pastagens o fogo pode alterar a produção, composição de espécies e qualidade da forragem, sejam gramíneas ou outras herbáceas e arbustos disponíveis para consumo

de gado ou outros herbívoros, além de alterações físicas, químicas e biológicas do solo (DeBano et al., 1998; Zanini e Sbrissia, 2013).

Em condições de pastejo principalmente de áreas extensivas e pastos nativos, o fogo é geralmente utilizado como ferramenta para o controle de plantas herbáceas e arbustos indesejáveis, prevenir invasões de espécies nativas ou exóticas e aumentar a produção de forragem (Neary e Leonard, 2020). Segundo Zanini e Sbrissia (2013), o fogo quando usado no controle de plantas indesejáveis áreas extensivas e pastos nativos pode proporcionar remoção das mesmas, diminuindo a competição com as espécies desejáveis. Embora esta mudança poderia significar numa redução da cobertura do solo (Jacques, 2003) (Tabela 2), incrementando a possibilidade de degradação. Outra perspectiva destaca que a ocorrência do fogo nestas condições, é benéfica para o desenvolvimento de algumas espécies de plantas, pois este age com agente escarificador sobre o tegumento da semente, promovendo a sua germinação (Costa et al., 2011).

Tabela 2. Efeitos do fogo prescrito na produção e valor nutritivo de forragens e comportamento de comunidades vegetais em diferentes ecossistemas

Vegetação	Manejo do fogo	Alguns resultados	Fonte
Pastos nativos	Queima bienal há mais de 100 anos. Lotação continua.	Sem melhora da qualidade da forragem. Redução de minerais da forragem.	Heringer e Jacques (2002)
Pastos nativos	Queima bienal há mais de 100 anos	Redução espécies de hábito rasteiro Redução de ciperáceas. Redução da riqueza florística Redução da produção de forragem verde Superfície considerável de solo descoberto.	Jacques (2003)
Poaceae (70%), Cyperaceae (10%), Fabaceae (5%) e outras (15%)	Sem queima	P; Ca; Na: 0,12; 0,162; 0,04 g/100g MS	Fernández et al. (2011)
	Queima anual	P; Ca; Na: 0,09; 0,137; 0,04 g/100g MS	
	Queima bienal	P; Ca; Na: 0,14; 0,167; 0,06 g/100g MS	
Panicum máximum	Sem queima	Produção; PB; DISMS: 9395 kg MS/ha; 90 g/kg; 499 g/kg	Villanueva et al. (2008)
	Queima anual	Produção; PB; DISMS: 7202 kg MS/ha; 89 g/kg; 566 g/kg	
Cynodon dactylon	Sem queima	Produção; PB; DISMS: 8414 kg MS/ha; 73 g/kg; 558 g/kg	
	Queima anual	Produção; PB; DISMS: 9501 kg MS/ha; 88 g/kg; 607 g/kg	

PB: proteína bruta; DISMS: Digestibilidade *in situ* da matéria seca.

A queima também pode afetar a qualidade da forragem, tanto através da remoção de partes de plantas pouco digestíveis, contendo baixas concentrações de fibras, proteínas e minerais, quanto a través da alteração dos perfis fenológicos das comunidades vegetais (DeBano et al., 1998). Como resultado, estimula-se o

crescimento de biomassa de valor nutritivo superior em toda a área promovendo uma distribuição espacial mais homogênea dos ruminantes em pastejo. Contudo, alguns autores afirmam que a planta forrageira após a queima não melhora nutricionalmente quando comparada àquela não queimada.

Poucos são os trabalhos publicados nos últimos anos mostrando estas características. Heringer e Jacques (2002) não observaram melhora na qualidade de pastos nativos, enquanto Fernández et al. (2011) e Villanueva et al. (2008), apresentam alguns indicadores favoráveis para pastos nativos (queima bienal) e introduzidos, respectivamente (Tabela 2). Segundo Costa et al (2011), quando se tem a presença de espécies com grande valor forrageiro tolerantes ao fogo, essa prática pode ser benéfica quanto à qualidade da forragem, mas, quando as espécies tolerantes ao fogo forem de baixa palatabilidade e baixo valor nutritivo, a qualidade do pasto será reduzida. O desempenho animal, é uma resposta direta a modificação dessa qualidade, porém diferentes resultados serão observados no comportamento ingestivo em relação à dinâmica da vegetação.

É importante destacar que além dos indicadores produtivos e de qualidade da forragem, devem ser considerados os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. O uso racional do fogo pode ser benéfico para os atributos químicos do solo, produto do depósito de alguns resíduos de plantas na forma de cinza (Costa et al., 2011; DeBano et al., 1998). Assim, ocorre a mineralização desses nutrientes, disponibilizando-os para as plantas, promovendo assim maior crescimento. Contudo, sem os devidos cuidados pode promover uma redução nos teores de matéria orgânica, fato que conduz a uma redução nos atributos físicas e biológicos do solo (Costa et al., 2011; Neary e Leonard, 2020).

A importância do fogo na dinâmica da vegetação é semelhante à do pastejo e do clima, portanto, o fogo não deve ser considerado isoladamente desses fatores ao analisar a dinâmica da vegetação nos diferentes ecossistemas. Paralelamente, deve-se planejar o uso do fogo, considerando a combinações de fatores como intensidade, tamanho da área, época do ano e periodicidade (Neary e Leonard, 2020) e distribuição de chuvas.

Fatores Bióticos

Herbivoria

A herbivoria, ou o consumo de plantas por herbívoros, é uma força motriz nos ecossistemas de pastagem, influenciando sua estrutura e funcionamento. Os

herbívoros, que podem incluir animais como bovinos, caprinos, ovinos e cervídeos, tem efeitos diretos e indiretos sobre as forrageiras, influenciando a produção de biomassa, a composição da vegetação e a ciclagem de nutrientes.

Na atividade do pastejo, Eldridge et al. (2017) destacam dois processos relevantes, a herbivoria e o pisoteio. A herbivoria é considerada um ato que causa estresse na planta, e essas plantas se adaptam ao pastejo por meio de alterações nas características fisiológicas e morfológicas (Ramos et al., 2022). Porém, essa morfologia individual de planta afeta a estrutura e o funcionamento de populações e comunidades, determinando interações competitivas entre espécies e entre indivíduos da mesma espécie (Nabinger e Carvalho, 2009). Assim, a forma em que o pasto é colhido pelos ruminantes, considerando manejo (intensidade e frequência) e métodos de pastejo (contínuo e rotacionado) modifica suas características estruturais, e consequentemente, a produção e valor nutritivo, influenciando diretamente no consumo e desempenho animal (Nabinger e Carvalho, 2009; Tesk et al., 2018). Ramos et al., 2022; Como ação indireta, a herbivoria fornece resíduos vegetais ao solo em decorrência do pastejo, fornecendo matéria orgânica e favorecendo a ciclagem de nutrientes pelo solo.

O manejo da herbivoria em pastagens é um desafio, pois visa equilibrar a produção animal com a preservação da vegetação e a manutenção da saúde do ecossistema. As estratégias de manejo sustentável incluem a rotação de pastagens, o ajuste da carga animal, o uso de cercas e a implementação de sistemas integrados que combinem a pecuária com outras atividades, como agricultura ou silvicultura. O manejo flexível e fundamentado em princípios ecológicos pode ajudar a aumentar a produtividade das pastagens sem comprometer a sustentabilidade do ecossistema. A intensificação das pastagens tropicais é uma importante estratégia de utilização das pastagens nos países em desenvolvimento. Na literatura científica, isso significa “aumento da produção” e “minimização da degradação ambiental”, redução do impacto” por meio da “melhor gestão de insumos, produtos, serviços ambientais e recursos/capital” (Wezel et al., 2015).

A utilização de estratégias de intensificação da produção pecuária, em áreas de pastagens tropicais, depende do conhecimento sobre solo, recursos hídricos, plantio, gerenciamento animal e o mercado da carne bovina. Estratégias como o ajuste da duração e frequência do pastejo, com uma oferta de forragem adequada, e o uso de leguminosas de alta persistência, provavelmente melhoram o desempenho dos animais em pastejo.

As decisões de frequência e intensidade de pastejo devem ser tomadas em sinergia com as exigências dos animais, baseadas na eficiência de colheita, respeitando

parâmetros fisiológicos e estruturais das forragens, além do comportamento e requerimento nutricional dos animais (Tesk et al., 2018). O planejamento destes princípios de manejo irá modificar a expressão dos mecanismos de rebrota, levando a mudanças na composição botânica que podem afetar tanto a quantidade como a qualidade da forragem (Tabelas 3 e 4), somado e a sazonalidade dessa produção (Nabinger e Carvalho, 2009).

Tabela 3. Produção e valor nutritivo de plantas forrageira com diferentes frequências de pastejo

Variável	Espécie forrageira	Dd	Interceptação luminosa		Fonte
		28	95%	100%	
AF (kg/ha/dia)	*Urochloa brizantha* (Hochst ex A. Rich.) Stapf. cv. Xaraes	131,2	121,1	173,4	Pedreira et al. (2007)
PB (g/kg)		116	138	122	Nave et al. (2010)
DIVMS (g/kg)		689	698	695	
		---	95%	Máxima	
AF* (kg/ha)	*Megathyrsus maximus* cv. Mombaça Outono-Inverno		5250	6550	Silva et al. (2020b)
PB (g/kg)		---	112	90	
FDA (g/kg)		---	381	396	
			MF Baixa	MF Alta	
PB (g/kg)	*Lolium perenne* L., cv. Ohio + *Trifolium repens* L. cv. Alice	---	220	186	Pérez-Prieto et al. (2013)
FDA (g/kg)		---	217	233	
Consumo (kg MS/dia)			16,2	16,7	

Dd: dias de descanso; MF: massa de forragem (2,5 cm de altura); AF: acúmulo da forragem; PB: proteína bruta; DIVMS: digestibilidade *in vitro* da MS; FDA: fibra em detergente ácido.

Tabela 4. Produção e valor nutritivo de plantas forrageira com diferentes intensidades de pastejo

Variável	Espécie forrageira	Intervalo de corte	Intensidade de desfoliação (ID, cm)				Fonte
			10	20	30	40	
MF (kg MSV/ha)	*Megathyrsus maximus* cv. Tamani	35 dias	2578	3269	3541	3097	Costa et al. (2020)
AF (kg MS/ha/dia)	*Urochloa plantaginea*	21 dias	66,4	102,5	144,0	154,1	Migliorini et al. (2018)
Massa de gramínea e leguminosa associada (kg MS/ha)	*Urochloa brizantha* cv. Marandu	Amostragem por estação do ano	Entre Y = 516,9 + 112,7ID e Y = 516,9 + 112,7ID				Tamele et al. (2017)
	Arachis pintoi cv. Belomonte		Y = 2741,7 – 36,7ID e Y = 3541,7 – 92,2ID				

MF massa da forragem; AF: acúmulo da forragem; MVS: matéria seca verde; MS: matéria seca.

Ao longo do tempo, as pesquisas têm mostrado diversidade de estratégias de manejo do pastejo com o intuito de avaliar produção e qualidade de diferentes espécies forrageiras. Aquelas estratégias utilizadas para avaliar "quando pastejar" (frequência), consideram variação de dias de descanso, massa de forragem à entrada, interceptação luminosas (95% ou mais), número de folhas verdes e altura de entrada de animais. Ao respeito, Pedreira et al. (2007) reportaram maiores acúmulos de biomassa de *Urochloa brizantha* (Hochst ex A. Rich.) Stapf. cv. Xaraes, com interceptação luminosa (IL) de 100% em relação a 95%, porém a concentração de proteína e digestibilidade da forragem, reportada por Nave et al. (2010) para o mesmo experimento, foi menor (Tabela 3). Estes resultados evidenciam que após o 95% IL, o sombreamento na parte inferior das folhas causado pela parte superior aumenta significativamente (Tesk et al., 2018), e em consequência aumenta o número de colmos e material morto na base da planta (Pedreira et al., 2007). Silva et al. (2020b), utilizando *Megathyrsus maximus* cv. Mombaça, observaram comportamento semelhante (Tabela 3).

As estratégias para decidir "quanto pastejar" (intensidade) respondem principalmente as variações de massa residual, taxa de lotação e altura de saída de animais. Exemplo dessas estratégias, são os trabalhos de Costa et al. (2020) e Migliorini et al. (2018) (Tabela 4). Estas pesquisas demostram menor quantidade de forragem e menor capacidade de rebrota, respectivamente, quando a intensidade

de desfolha é maior (massa residual de 10 cm). Estas respostas estão associadas da remoção do tecido foliar que reduz a fotossíntese, limitando os carboidratos disponíveis para sustentar o crescimento (Sollenberger et al., 2020), sendo que essa intensidade da desfolha pode envolver mais de 80% a 90% de remoção da área foliar (Gastal e Lemaire, 2015).

Em relação aos métodos de pastejo, Sollenberger et al. (2012) constataram que 71% dos estudos comparando lotação rotativa e contínua não relataram diferenças no valor nutritivo da forragem, mas 81% relataram uma vantagem na capacidade de carga do pasto para lotação rotativa. Quando sistemas de pastejo intermitente e contínuo são comparados, quantidades semelhantes de consumo de forragem e eficiência de utilização de forragem semelhantes são obtidas, quando as condições para o crescimento da forragem são favoráveis (Parsons e Johnson, 1988). Porém, quando o crescimento da forragem se torna limitado pelas condições ambientais, a eficiência de uso da forragem em pastejo continuo se reduz como resultado do declínio associado à densidade da lotação (Gastal e Lemaire, 2015). Contextualizando todas as estratégias de manejo das áreas de pastagens, é necessário o conhecimento das respostas morfogênicas e estruturais das plantas a desfolha, que possa garantir uma produção de forragem de qualidade que resultem em níveis ótimos de desempenho animal (Cruz et al., 2021; Sollenberger et al., 2020).

Visitantes florais

A presença de polinizadores (abelhas, besouros, formigas, pássaros) desempenha um papel importante para sustentar as populações de plantas herbáceas em campos, ao mesmo tempo em que esses campos oferecem uma variedade de habitats, favorecendo a diversidade de polinizadores (Sollenberger et al., 2019). Embora, algumas características das comunidades de plantas em áreas de pastagens, fenologia e manejo do pastejo podem favorecer ou limitar este serviço. Woodcock et al. (2014) demostraram que o aumento da diversidade florística, incluindo gramíneas, leguminosas e espécies herbáceas com flores (diferentes de gramíneas), favoreceu a presença de polinizadores, uma vez que a compatibilidade entre estas não fosse limitante ao longo do tempo. O uso de misturas de pastagens, especialmente a introdução de leguminosas em gramíneas perenes, fornece flores com fenologia diferente para polinizadores, ao mesmo tempo em que melhora a qualidade da foragem para ruminantes (Sollenberger et al., 2019).

O manejo do pastejo também vem sendo documentado como fator que influencia a população de polinizadores, devido às mudanças na composição botânica

(Sollenberger et al., 2019). Batáry et al. (2010), Sjödin et al. (2008) e Hudewenz et al. (2012), em diferentes condições experimentais, mostram a relação entre intensidade e frequência de pastejo com o incremento de flores, favorecendo, em consequência, a abundância de polinizadores. Segundo Potts et al. (2009) e Dubeux Jr et al. (2017a), o controle de práticas de manejo em áreas de pastagem, podem aumentam a disponibilidade espacial e temporal dos principais recursos para os polinizadores, além de introduzir novos tipos de hábitat. Contudo, a diversidade de polinizadores varia entre os grupos de insetos, e esses grupos respondem de forma diferente estas estratégias de manejo do pastejo (Sjödin et al., 2008).

Faz necessário compreender que a polinização é necessária principalmente para a produção de sementes de qualidade, maximizar o rendimento e a qualidade dos frutos e para a uniformidade no amadurecimento das algumas culturas (Rai et al., 2020). Muitas culturas e plantas silvestres dependem da polinização para sua reprodução sexual (Ollerton et al., 2011), pelo que o rendimento da colheita e a produção de sementes em muitas espécies de plantas silvestres será favorecida por uma comunidade polinizadora diversificada (Hederström et al., 2021). As abelhas (Hymenoptera: Apoidea), são os principais polinizadores da maioria das culturas agrícolas e plantas silvestres (Sollenberger et al., 2019). Em *Opuntia*, além das abelhas, foram identificados besouros e alguns lepidópteros entre os visitantes florais, porém com diferença na eficácia da polinização (Tenorio-Escandón et al., 2022).

No cultivo de diferentes genótipos de *Stylosanthes,* Diniz (2020) observou visitas de insetos como borboletas, dípteros, libélulas, vespas e grandes abelhas solitárias da espécie *Xylocopa* sp. No entanto, destacaram-se como visitantes florais quatro espécies da família *Apidae* (*Exomalopsis auropilosa*, *Apis melífera*, *Tetragonisca angustula* e *Trigona spinipes*) (Figura 5).

Figura 5. Abelha *Apis melífera* coletando néctar em *Stylosanthes scabra*, Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina da UFRPE, março de 2017.

Pesquisas que ajudem a compreender e potencialmente melhorar o habitat de insetos polinizadores, ainda são necessárias. Alguns autores. destacam a importância avaliação da integração de leguminosas forrageiras em sistemas pecuários (Sollenberger e Dubeux Junior, 2022); avaliar o néctar e pólen que as leguminosas forrageiras fornecem para sustentar o desenvolvimento populacional de polinizadores (Boelt et al., 2015); e a implantação de diversidade espacial de plantas forrageira em sistemas pecuários com manejo do pastejo de baixa intensidade (Kruess e Tscharntke, 2002). Outro aspecto relevante, seria identificar e quantificar anualmente as populações de plantas dependentes de polinizadores, sendo que o declínio destes insetos reportado por Thomann et al. (2013), ameaça não apenas a segurança alimentar, mas também pode levar à extinção de plantas dependentes de polinizadores (Dubeux Jr et al., 2017a).

Manejo

Adubação

De maneira geral, a redução da persistência de espécies forrageiras, está relacionada em grande parte, ao manejo inadequado da pastagem, somada à perda da fertilidade do solo (Cruz et al., 2021). Segundo Whitehead (2000), os macros e

micronutrientes conhecidos como essenciais para as plantas são nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cloro (Cl), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B) e molibdênio (Mo). Nas leguminosas, que dependem diretamente da fixação de N_2 para seu suprimento de N, também requerem cobalto (Co) como nutriente para suas bactérias rizóbios. A baixa disponibilidade desses elementos, ou desequilíbrio de nutrientes e a elevada acidez dos solos são fatores que contribuem para limitar a produção de forrageiras (Cruz et al., 2021), o que sugere a necessidade de utilizar estratégias de fertilização que permitam melhorar a qualidade dos solos e em consequência incrementar a eficiência de uso dos nutrientes pelas plantas forrageiras.

A reposição de nutrientes deve responder à extração gerada pela cultura forrageira (Kumar et al., 2014), somado à interação da espécie de planta com as condições do ecossistema e de manejo. Em consequência, na literatura são observadas diferentes abordagens com o intuito de favorecer tanto a produção de forragem quanto sua qualidade. A adubação nitrogenada é uma das principais estratégias de fertilização em plantas forrageiras, principalmente gramíneas (Tabela 5), devido à associação entre o desenvolvimento das características morfogênicas e estruturais do pasto em resposta à disponibilidade de N no solo (Nabinger e Carvalho, 2009), estimulando o acúmulo de biomassa (Abreu et al., 2020), além de sua participação na formação de proteínas e ativação de enzimas (Taiz et al., 2017).

Tabela 5. Produção e valor nutritivo de espécies forrageiras fertilizadas com fontes de N ou associadas com leguminosas

Variável	Espécie forrageira	Fertilização ou Associação com leguminosa			Fonte
		Sem fertilização	Associada *Arachis pintoi*	150 kg N/ha	
AF (kg/ha/dia)	*Urochloa brizantha* cv. Marandu	58	82	104	Berça et al. (2021)
PB (g/kg)		101	108	127	
Lignina (g/kg)		35	36	41	
		Sem fertilização	30 kg N/ha	50 kg N/ha	
AF (kg/ha/dia)	*Megathyrsus maximus* (Jacq.) cv. Mombasa	52,4	84,2	98,3	Oliveira et al. (2020)
PB (g/kg)		87,7	117,6	136,6	
Lignina (g/kg)		24,3	25,6	27,5	
		Sem fertilização	180 kg N/ha	270 kg N/ha	
MF (kg/ha)	*Urochloa brizantha* (Hochst ex A. Rich) Stapf Marandu	5798	6436	6499	Delevatti et al. (2019)
PB (g/kg)		113,6	150,9	167,6	
Lignina (g/kg)		39,5	38,5	37,7	

AF: acúmulo da forragem; PB: proteína bruta; MF: massa de forragem.

Delevatti et al. (2019) e Oliveira et al. (2020) avaliaram o acúmulo da forragem e valor nutritivo de *Urochloa brizantha* (Hochst ex A. Rich) Stapf Marandu e *Megathyrsus maximus* (Jacq.) cv. Mombaça, respectivamente, em resposta a níveis crescentes de N (Tabela 5), obtendo incrementos lineais à aplicação deste elemento e produção de biomassa superior em menor período de tempo. Porém, o valor nutritivo apresentou respostas variáveis entre experimentos. Delevatti et al. (2019) reportaram valor nutritivo com comportamento semelhante ao acúmulo de biomassa. Entretanto, Oliveira et al (2020) observaram menores variações nestes indicadores, devido à maior regularidade das chuvas no local durante o experimento. Berça et al. (2021) também avaliaram a adubação nitrogenada, embora considerando além do N inorgânico, a inclusão de *Arachis pintoi* no sistema, associado ao Marandu (Tabela 5).

Além do N, segundo Cruz et al. (2021) na agropecuária, também é comum utilizar a adubação focada em atender as exigências P e K. Segundo Taiz et al. (2017) o P participa ativamente no processo de fotossíntese, e é utilizado no metabolismo

energético das plantas, bem como na composição do DNA e RNA. Nas leguminosas, o P promove a nodulação e estimula a fixação de N_2 (Pang et al., 2018). O K, permanece na forma iônica, sendo armazenado em vacúolos ou citosol, desempenhando papel crucial na regulação osmótica da folha (Taiz et al., 2017). A calagem é outra estratégia fertilização, sendo utilizada para elevar o pH do solo através da diminuição da toxicidade do alumínio no solo e melhora no equilíbrio entre nutrientes, favorecendo e o desenvolvimento radicular das plantas o posterior absorção dos elementos requeridos para seu desenvolvimento e manutenção (Costa et al., 2014). Algumas destas estratégias são apresentadas (Tabela 6), com respostas em rendimento de forragens C_3, C_4 e CAM, evidenciando a necessidade da correção e nutrição do solo na produção de culturas em diferentes condições agroecológicas e de manejo.

Tabela 6. Produção de biomassa de espécies forrageiras submetidas a diferentes estratégias de adubação

Espécie	Produção de biomassa (Mg/ha)			Fonte de adubo	Fonte
	Calagem	Sem adubação	Com adubação		
Trachypogon plumosus	1,09*	0,71	1,66	50 kg N/ha, 50 kg + P_2O_5/ha + 50 kg K_2O/ha + 30 kg S/ha	Costa et al. (2014)
Stylosanthes capitata 80% e *S. macrocephala* 20%	---	1,24	1,30	60 kg P_2O_5/ha	Fabrice et al. (2015)
Urochloa hibrida cv. Mulato II		1,18	1,68	180 kg P_2O_5/ha	Teixeira et al. (2018)
		1,96	2,82	180 kg P_2O_5/ha + 100 kg N/ha	
Opuntia ficus-indica (12 meses)	---	3,99	12,20	20 Mg/ha esterco de cabra	Ramos et al. (2015)
Opuntia ficus-indica (24 meses)	---	13,85	30,26		
Nopalea cochenillifera cv. Miúda	---	6,4	6,5	5 l/ha de Ácido fúlvico	Lima et al. (2018b)

*0,65 t/ha de calcário dolomítico

Controle de invasoras

O controle de invasoras, como prática agronômica para reduzir a competição por nutrientes, umidade e luz, é importante para aumentar a biomassa de culturas e incrementar sua qualidade em diferentes ecossistemas. Assim, é possível obter maior quantidade de forragem, capacidade de suporte e reserva hídrica nas plantas (Dubeux Jr. et al., 2017b; Ramos et al., 2017).

Para o controle de invasoras, é necessário conhecer sua capacidade de dispersão, características morfológicas e sobrevivência. O controle recomendado pode ser químico, biológico, cultural ou mecânico (Masters e Sleugh, 2020).

Os métodos de controles de plantas invasoras variam conforme o sistema de cultivo e a espécie cultivada (Tabela 7).

Tabela 7. Tipo de controle de plantas invasoras

Espécie	Tipo de controle	Produção de matéria seca (Mg/ha)	Fonte
Pennisetum glaucum L.	Sem controle Químico	7,62 10,5	Choudhary et al. (2017)
Glycine max (L.) Merrill*	Sem controle Pré-emergente Pós-emergente	1,05 1,79 1,65	Devi et al. (2016)
O. ficus-indica Mill (2 anos)	Químico Manual (roço no verão e enxada) Sem controle	11,9 4,93 3,03	Farias et al. (2001)
N. cochenillifera (L.) Salm-Dyck (1 ano)	Manual Sem controle	11,1 9,5	Ramos et al. (2017)

*Rendimento do grão.

O uso de leguminosas forrageiras consorciadas pode ser uma forma de fornecer serviços ecossistêmicos como, controle de plantas invasoras (Vrignon-Brenas et al., 2016). Devido aos benefícios, tanto para a produção de forragem, quanto para o manejo de plantas invasoras, o uso de leguminosas como estratégia de controle tem atraído cada vez mais atenção. As leguminosas, quando utilizadas em pastagens pode além de suprimir espécies invasoras, melhorar a qualidade da forragem e a nutrição animal. Em comparação com as gramíneas, as leguminosas frequentemente apresentam maior teor proteico e nutricional, o que pode melhorar a qualidade da dieta do animal e, consequentemente, o desempenho (Castro-Montpya e Dickhoefer,

2020). No geral, as leguminosas perenes possuem boa capacidade de controle de ervas daninhas, reduzindo a necessidade de aplicação de herbicidas, diminuindo os custos de produção e os prejuízos ambientais (Leoni et al., 2020).

A presença de leguminosas em pastagens pode aumentar a variedade de espécies forrageiras e ajudar a manter um ambiente mais equilibrado. A fixação biológica de nitrogênio por leguminosas pode melhorar a fertilidade do solo, reduzindo a necessidade de aplicação de fertilizantes nitrogenados. Apesar dos benefícios, o uso de leguminosas para o manejo de espécies invasoras apresenta desafios, incluindo a seleção adequada de espécies de leguminosas, o manejo da competição entre leguminosas e gramíneas, e o impacto das condições ambientais na eficácia do controle.

O manejo de plantas invasoras é fundamental para a manutenção da sanidade e produtividade das pastagens. A adoção de estratégias de controle adequadas, e o entendimento dos desafios impostos pelos invasores, são essenciais para promover a sustentabilidade dos sistemas de produção pastoril. O manejo eficaz de plantas invasoras promove a viabilidade econômica, e a qualidade da forragem, garantindo a produção de alimentos de alta qualidade.

Considerações finais

Os fatores ecológicos possuem grande influência no desenvolvimento das espécies forrageiras, influenciando no seu crescimento, fenologia, reprodução, absorção de nutrientes, mecanismos de aclimatação, além de mediações na sua capacidade de resiliência a estresses fisiológicos e mecânicos, entre outros. Sendo importante que, a compreensão da atuação dos fatores abióticos e bióticos nas plantas forrageiras, podem variar de acordo com as condições edafoclimáticas e características intrínsecas do metabolismo vegetal, tais como as diferenças entre os diferentes metabolismos fotossintéticos.

Os conhecimentos acerca dos fatores contribuem para otimização do manejo de pastagem com base na atuação dos fatores discorridos neste capítulo, isso envolve promover uma produção fundamentada na maior qualidade de plantas forrageiras, levando em consideração a atuação dos fatores ecológicos, e consequentemente melhorando a nutrição animal, baseada em promover o equilíbrio entre os diferentes ecossistemas e suas interações.

Referências

Abreu, M.J.I., Paula, P.R.P., Tavares, V.B., Cidrini, I.A., Nunes, H.O., Emiliano, W.J.C., Souza, W.L., Coelho, R.M., Neiva Júnior, A.P., Tomaz, C.E.P., 2020. Morfogênese, características estruturais e acúmulo de forragem do *Megathyrsus maximus* BRS Zuri submetido a adubação nitrogenada. Boletim de Indústria Animal 77, 1–17. https://doi.org/10.17523/bia.2020.v77.e1486

Ahmed, M.S., Sultan, M., Shamshiri, R.R., Rahman, M.M., Aleem, M.B., Siva K. 2023. Present status and challenges of fodder production in controlled environments: a review. Smart Agricultural Technology, 3, 100080 http://dx.doi.org/10.1016/j.atech.2022.100080.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Água no mundo. 2023. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/cooperacao-internacional/agua-no-mundo. Acesso em: 03 jan. 2023.

Angadi, S.V., Umesh, M.R., Bengna, S., Gowda, P. 2022. Light interception, agronomic performance,and nutritive quality of annual forage legumes as affected by shade. Field Crops Research, 275:108358.

Angelotti, F., Barbosa, L.G., Barros, J.R.A., Santos, C.A.F.D. 2020. Cowpea development under different temperatures and carbon dioxide concentrations. Pesquisa Agropecuária Tropical, 50. https://doi.org/10.1590/1983-40632020v5059377

Ataíde, G.M., Castro, R.V.O., Correia, A.C.G., Reis, G.G., Reis, M.G.F., Rosado, A.M. 2015. Interação de árvores e ventos: aspectos ecofisiológicos e florestais. Ciência Florestal, 25, 2.

Augusto, L.G.D.S., Gurgel, I.G.D., Câmara Neto, H.F., Melo, C.H.D., Costa, A.M. 2012. O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. Ciência & saúde coletiva, 17, 1511-1522

Barros, J.R.A., Guimarães, M.J.M., Simões, W.L., Melo, N.F.D., Angelotti, F. 2022. Temperature: A major climatic determinant of cowpea production. Acta Scientiarum. Agronomy, 45, e56812. https://doi.org/10.4025/actasciagron.v45i1.56812

Batáry, P., Báldi, A., Sárospataki, M., Kohler, F., Verhulst, J., Knop, E., Herzog, F., Kleijn, D., 2010. Effect of conservation management on bees and insect-pollinated grassland plant communities in three European countries. Agric Ecosyst Environ 136, 35–39. https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.11.004

Berça, A.S., Cardoso, A. S. Longhini, V.Z., Tedeschi, L.O., Boddey, R.M., Reis, R.A., Ruggieri, A.C., 2021. Protein and carbohydrate fractions in warm-season pastures: Effects of nitrogen management strategies. Agronomy 11, 847. https://doi.org/10.3390/agron

Bernards, S.J., Morris, L.R., 2017. Influence of topography on long-term successional trajectories in canyon grasslands. Appl Veg Sci 20, 236–246. https://doi.org/10.1111/avsc.12272

Boelt, B., Julier, B., Karagić, D., Hampton, J., 2015. Legume seed production meeting market requirements and economic impacts. CRC Crit Rev Plant Sci 34, 412–427. https://doi.org/10.1080/07352689.2014.898477

Boyer, J.S. 1982. Plant productivity and environment. Science., 218, 4571, 443-448.

Câmara H.F. A "Tragédia da Hemodiálise" 12 anos depois: poderia ter sido evitada? (Tese). Recife (PE): Centro de Pesquisa Aggeu Magalhães; 2009.

Cardona, T., Shao, S., Nixon, P.J. 2018. Enhancing photosynthesis in plants: the light reactions. Essays In Biochemistry, 62, 1, 85-94, 21 http://dx.doi.org/10.1042/ebc20170015.

Cardoso, J.A., Pineda, M., Jiménez, J.D.L.C., Vergara, M.F., Rao, I.M. 2015. Contrasting strategies to cope with drought conditions by two tropical forage C4 grasses. AoB Plants, 7, 1-15. https://doi.org/10.1093/aobpla/plv107

Cavalcante, A.C.R., Cavallini, M.C., Lima, N.D.B. 2009. Estresse por déficit hídrico em plantas forrageiras. Sobral, CE: Embrapa Caprinos e Ovinos.

Chen, Z., Ma, H., Xia, J., Hou, F., Shi, X., Hao, X., Luo, H. 2017. Optimal pre-plant irrigation and fertilization can improve biomass accumulation by maintaining the root and leaf productive capacity of cotton crop. Scientific Reports, 7, 1, 1-13. https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41598-017-17428-5

Choudhary, S., Chopra, Neelam K., Chopra, Nisha K., Singh, M., Kumar, R., Kushwaha, M., 2017. Influence of Nitrogen Levels and Weed Management Practices on Yield and Quality of Forage Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* L.). Indian Journal of Animal Nutrition 34, 64. https://doi.org/10.5958/2231-6744.2017.00010.x

Costa, M.R.G.F., Cândido, M.J.D., Carneiro, M.S.S., Morais Neto, L.B., Magalhães, J.A., Costa, N.L., 2011. Burning in natural pastures. PUBVET 5, 1–22.

Costa, N.L., Jank, L., Magalhães, J.A., Rodrigues, A.N.A., Bendahan, A.B., Gianluppi, V., Rodrigues, B.H.N., Santos, F.J.S., 2020. Forage accumulation and morphogenetic and structural characteristics of *Megathyrsus maximus* cv. Tamani under defoliation intensities. PUBVET 14, 1–7. https://doi.org/10.31533/pubvet.v14n4a553.1-7

Costa, N.L., Moraes A., Carvalho, P.C.F., Monteiro, A.L.G., Motta, A.C.V., Silva, A.L.P., Oliveira, R.A., 2014. Morphogenesis of *Trachypogon plumosus* under liming, fertilizationand regrowth ages. Archivos de Zootecnia 63, 109–120.

Cruz, N.T., Pires, A.J.V., Fries, D.D., Jardim, R.R., Sousa, B.M. de L., Dias, D.L.S., Bonomo, P., Ramos, B.L.P., Sacramento, M.R.S.V. 2021. Factors affecting the morphogenic and structural characteristics of forage plants. Research, Society and Development 10, e5410716180. https://doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16180

Cruz, P.J.R.D., Santos, M.V., Silva, L.D.D., Ferreira, E.A., Magalhães, M.A., Martuscello, J.A., Fonseca, D.M.D. 2020. Morphogenetic, physiological, and productive of forage peanut responses to shading. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 55, e01746. https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2020.v55.01746

Dearborn, K.D., Danby, R.K., 2017. Aspect and slope influence plant community composition more than elevation across forest–tundra ecotones in subarctic Canada. Journal of Vegetation Science 28, 595–604. https://doi.org/10.1111/jvs.12521

DeBano, L., Neary, D., Ffolliott, P., 1998. Fire's Effects on Ecosystems. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Decker, V., Klosowski, É.S., Malavasi, U.C., Nunes, A. 2011. Avaliação da intensidade luminosa no desenvolvimento inicial de leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.). Ciência Florestal, 21, 609-618.

Delevatti, L.M., Cardoso, A.S., Barbero, R.P., Leite, R.G., Romanzini, E.P., Ruggieri, A.C., Reis, R.A., 2019. Effect of nitrogen application rate on yield, forage quality, and animal performance in a tropical pasture. Sci Rep 9, 7596. https://doi.org/10.1038/s41598-019-44138-x

Devi, K.N., Singh, K.L., Mangang, C.N.J.S., Singh, N.B., Athokpam, H.S., Singh, A.D. 2016. Effect of weed control practices on weed dynamics, yield and economics of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. Legume Research 39, 995–998. https://doi.org/10.18805/lr.v0iOF.6777

Diniz, W.P.S. 2020. Aspectos produtivos, qualitativos e frequência de visitantes florais em espécies de *Stylosanthes* ssp. na Zona da Mata Seca de Pernambuco. Tese de doutorado. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

Disponível em :<https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792014000300231>. Acesso em: 04 jan. 2023.

Dubeux Jr, J.C.B., Muir, J.P., Apolinário, V.X. de O., Nair, P.K.R., Lira, M.A., Sollenberger, L.E., 2017a. Tree legumes: An underexploited resource in warm-climate silvopastures. Revista Brasileira de Zootecnia 46, 689–703. https://doi.org/10.1590/S1806-92902017000800010

Dubeux Jr., J.C.B., ben Salem, H., Nefzaoui, A., 2017b. Forage production and supply for animal nutrition, in: Crop Ecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear. IX International Congress

On Cactus Pear And Cochineal Cam Crops for a Hotter and Drier World. FAO and ICARDA, Coquimbo, Chile, pp. 73–92.

Eldridge, D.J., Delgado-Baquerizo, M., Travers, S.K., Val, J., Oliver, I., 2017. Do grazing intensity and herbivore type affect soil health? Insights from a semi-arid productivity gradient. Journal of Applied Ecology 54, 976–985. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12834

Fabrice, C.E.S., Soares Filho, C.V., Pinto, M.F., Perri, S.H.V., Cecato, U., Mateus, G.P., 2015. Recovery of degraded *Brachiaria decumbens* pasture with the introduction of *Stylosanthes* and phosphorus fertilization. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal 16, 758–771. https://doi.org/10.1590/s1519-99402015000400001

Farias, I., Melo, J.N., Dubeux Jr., J.C., Santos, M.V.F., Santos, D.C., Lira, M.A., 2001. Cactus forage productivy (*Opuntia ficus-indica* Mill) under diferent weed control methods, in: Reunião Anual Da Sociedade Brasileira de Zootecnia. SBZ, Piracicaba, pp. 23–26.

Fateh, H., e Toube, A. 2021. Wheat physiological traits response in standard and ecological agricultural systems. Earth Sciences Research Journal, 25, 131-136.

Fernández, J.A., Schroeder, M.A., Goldfarb, M.C., Bernardis, A.C., 2011. Effect of frequency prescribed burns on the mineral composition of grasslands in northeastern Argentina. Ecología Aplicada 10, 23–29.

Fonseca, V.A., Santos, M.R.D., Silva, J.A.D., Donato, S.L.R., Rodrigues, C.S., Brito, C.F.B. 2019. Morpho-physiology, yield, and water-use efficiency of *Opuntia ficus-indica* irrigated with saline water. Acta Scientiarum. Agronomy, 41, e42631. https://doi.org/10.4025/actasciagron.v41i1.42631

Gastal, F., Lemaire, G., 2015. Defoliation, shoot plasticity, sward structure and herbage utilization in pasture: Review of the underlying ecophysiological processes. Agriculture (Switzerland) 5, 1146–1171. https://doi.org/10.3390/agriculture5041146

Gobbi, K.F., Garcia, R., Garcez Neto, A.F., Pereira, O.G., Ventrella, M.C., Rocha, G.C. 2009. Características morfológicas, estruturais e produtividade do capim-braquiária e do amendoim forrageiro submetidos ao sombreamento. Revista Brasileira de Zootecnia, 38, 1645-1654.

Habermann, E., Oliveira, E.A.D., Contin, D.R., Delvecchio, G., Viciedo, D.O., Moraes, M.A., Prado, R.M., Costa, K.A.P., Braga, M.R., Martinez, C.A. 2019a. Warming and water deficit impact leaf photosynthesisand decrease forage quality and digestibility of a C4 tropical grass. Physiologia Plantarum, 165: 383-402.

Habermann, E.; San Martin, J.A.B.; Contin, D.R.; Bossan, V.P.; Barboza, A.; Braga, M.R.; Groppo, M.; Martinez, C.A. 2019b. Increasing atmospheric CO2 and canopy temperature induces

anatomical and physiological changes in leaves of the C4 forage species *Panicum maximum*. PLoS ONE., 14, 2, 1-25.

Harrison, E.L., Cubas, L.A., Gray, J.E., Hepworth, C. 2019. The influence of stomatal morphology and distribution on photosynthetic gas exchange. The Plant Journal, 101, 4, 768-779. http://dx.doi.org/10.1111/tpj.14560.

Hassan, M.U., Rasool, T., Iqbal, C., Arshad, A., Abrar, M., Abrar, M.M., Habib-ur-Rahman, M., Noor, M.A., Sher, A., Fahad, S. 2021. Linking plants functioning to adaptive responses under heat stress conditions: a mechanistic review. Journal of Plant Growth Regulation, 1-18.

Hatfield, J.L., Prueger, J.H. 2015. Temperature extremes: effect on plant growth and development. Weather and Climate Extremes, 10, 1, 4-10, 2015. https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001

Hatfield, J.L., Dold, C., 2019. Water-use efficiency: Advances and challenges in a changing climate. Frontiers in Plant Science 10, 2-14.

Hederström, V., Rundlöf, M., Birgersson, G., Larsson, M.C., Balkenius, A., Lankinen, Å., 2021. Do plant ploidy and pollinator tongue length interact to cause low seed yield in red clover? Ecosphere 12, e03416. https://doi.org/10.1002/ecs2.3416

Heinen, R.B., Bienert, G.P., Cohen, D., Chevalier, A.S., Uehlein, N., Hachez, C., Kaldenhoff, R., Thiec, D.L., Chaumont, F. 2014. Expression and characterization of plasma membrane aquaporins in stomatal complexes of Zea mays. Plant Molecular Biology, 86, 3, 335-350. http://dx.doi.org/10.1007/s11103-014-0232-7.

Heringer, I., Jacques, A.V.Á., 2002. Quality in forage of natural pasture under alternative managements. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 37, 399–406.

Hudewenz, A., Klein, A.M., Scherber, C., Stanke, L., Tscharntke, T., Vogel, A., Weigelt, A., Weisser, W.W., Ebeling, A., 2012. Herbivore and pollinator responses to grassland management intensity along experimental changes in plant species richness. Biol Conserv 150, 42-52. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.02.024

Hughes, M., Mlambo,V., Jennings, P.G.A., Lallo, C.H.O. 2014. The accuracy of predicting in vitro ruminal organic matter digestibility from chemical components of tropical pastures varies with season and harvesting method. Tropical Agriculture, 91: 131-146.

Jacques, V.A.A., 2003. Fire on native pastures-efects on soil and vegetation. Ciência Rural 33, 177-181.

Kruess, A., Tscharntke, T., 2002. Grazing intensity and the diversity of grasshoppers, butterflies, and trap-nesting bees and wasps. Conservation Biology 16, 1570-1580.

Kumar, S., Palsaniya, D.R., Kumar, T.K., Rai, S.K., 2014. Nutrient management strategies for sustainable forage production: A review. Current Advances in Agricultural Sciences 6, 103–114. https://doi.org/10.5958/2394-4471.2014.00001.x

Lee, M.A. 2018. Uma comparação global dos valores nutritivos de plantas forrageiras cultivadas em ambientes contrastantes. J Planta Res, 131: 641-654.

Lee, M.A., Davis, A.P., Chagunda, M.G.G., Manning, P. 2017. A qualidade da forragem diminui com o aumento das temperaturas, com implicações para a produção pecuária e as emissões de metano. Biogeociências, 14: 1403-1417.

Lima, L.R., Silva, T.G., Jardim, A.M., Souza, C.A., Queiroz, M.G.D., Tabosa, J.N. 2018a. Growth, water use and efficiency of forage cactus sorghum intercropping under different water depths. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 22, 2, 113-118. https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n2p113-118

Lima, W.S., Perez-Marin, A.M., Lambais, G.R., 2018b. Organic fertilizers on the development of varieties cactus forage. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável 13, 17-175. https://doi.org/10.18378/rvads.v13i2.5698

Lista, F.N., Deminicis, B.B., Almeida, J.C.D.C., Araujo, S.A.D.C., Zanella, P.G. 2019. Forage production and quality of tropical forage legumes submitted to shading. Ciência Rural, 49, 7, e20170726. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170726

Liu, H., Jin, Y., Roche, L.M., O'Geen, A.T., Dahlgren, R.A., 2021. Understanding spatial variability of forage production in California grasslands: Delineating climate, topography and soil controls. Environmental Research Letters 16, 014043. https://doi.org/10.1088/1748-9326/abc64d

Lopes, S.F., Oliveira, A.P., Neves, S.B., Schiavini, I. 2010. Dispersão de sementes de uruvalheira (*Platypodium elegans* vog.) (Fabaceae) em um cerradão, Uberlândia-MG. Revista Árvore, 34, 5, 807-813. https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000500006

Lozano-Parra, J., Maneta, M.P., Schnabel, S., 2014. Climate and topographic controls on simulated pasture production in a semiarid Mediterranean watershed with scattered tree cover. Hydrol Earth Syst Sci 18, 1439-1456. https://doi.org/10.5194/hess-18-1439-2014

Martinez, C.A., Oliveira, E.A.D., Mello, T.R.P., Alzate-Marin, A.L. 2015. Respostas das plantas ao incremento atmosférico de dióxido de carbono e da temperatura. Revista Brasileira de Geografia Física, 8, 635-650.

Masters, R.A., Sleugh, B.B., 2020. Weed Management, in: Moore, K.J., Collins, M., Nelson, C.J., Redfearn, D.D. (Eds.), Forages: The Science of Grassland Agriculture. John Wiley & Sons Ltd, New York.

Medeiros, H.R., Dubeux Júnior, J.C.B. 2008. Efeitos da fertilização com nitrogênio sobre a produção e eficiência do uso da água em Capim Buffel. Revista Caatinga, 21, 3, 13-15.

Melo, C.D., Dias, C.S.A.M., Wallon, S., Borba, A.E.S., Madruga, J., Borges, P.A.V., Ferreira, M.T., Elias, R.B. 2022. Influência da variabilidade climática e da fertilidade do solo na qualidade e produtividade da forrageira em pastagens açorianas. *Agricultura*, 12, 358. https://doi.org/10.3390/agriculture12030358

Méndez-Toribio, M., Meave, J.A., Zermeño-Hernández, I., Ibarra-Manríquez, G., 2016. Effects of slope aspect and topographic position on environmental variables, disturbance regime and tree community attributes in a seasonal tropical dry forest. Journal of Vegetation Science 27, 1094-1103. https://doi.org/10.1111/jvs.12455

Migliorini, F., Soares, A.B., Schmitt, D., Pontes, L.S., Assmann, T.S., 2018. Morphogenetic and structural characteristics of Alexandergrass pastures under continuous stocking. Ciência Animal Brasileira 19, 1-11. https://doi.org/10.1590/1809-6891v19e-50830.

Moore, C.E., Meacham-Hensold, K., Lemonnier, P., Slattery, R.A., Benjamin, C., Bernacchi, C.J., Lawson, T., Cavanagh, A.P., 2021. The effect of increasing temperature on crop photosynthesis: from enzymes to ecosystems. Journal Of Experimental Botany, 72, 8, 2822-2844. http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erab090.

Murad, M.A., Razi, K., Jeong, B.R., Samy, P.M.A., Muneer, S., 2021. Light Emitting Diodes (LEDs) as Agricultural Lighting: impact and its potential on improving physiology, flowering, and secondary metabolites of crops. Sustainability, 13, 4, 1985. http://dx.doi.org/10.3390/su13041985.

Nabinger, C., Carvalho, P.C.F., 2009. Ecophysiology of pastoral systems: aplications for sustainability. Agrociencia XIII, 18-27.

Nave, R.L.G., Pedreira, C.G.S., Pedreira, B.C., 2010. Nutritive value and physical characteristics of Xaraes palisadegrass as affected by grazing strategy. S Afr J Anim Sci 40, 285-293.

Neary, D.G., Leonard, J.M., 2020. Effects of fire on grassland soils and water: A review, in: Kindomihou, V.M. (Ed.), Grasses and Grassland Aspects. IntechOpen, London. https://doi.org/10.5772/intechopen.90747

Nordheim-Viken, H., Volden, H., Jorgensen, M. 2009. Effects of maturity stage, temperature and photoperiod on growth and nutritive value of timothy (*Phleum pratense* L.). Animal Feed Science and Technology, 152: 204-218.

Oliveira, J.K.S., Corrêa, D.C.C., Cunha, A.M.Q., Rêgo, A.C., Faturi, C., Silva, W.L., Domingues, F.N., 2020. Effect of nitrogen fertilization on production, chemical composition and morphogenesis

of guinea grass in the humid tropics. Agronomy 10, 1840. https://doi.org/10.3390/agronomy10111840

Ollerton, J., Winfree, R., Tarrant, S., 2011. How many flowering plants are pollinated by animals? Oikos 120, 321-326. https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x

Paciullo, D.S.C., Gomide, C.A.M., Castro, C.R.T., Maurício, R.M., Fernandes, P.B., Morenz, M.J.F. 2017. Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. Grass and Forage Science, 72, 590-600. https://doi.org/10.1111/gfs.12264.

Pang, J., Ryan, M.H., Lambers, H., Siddique, K.H., 2018. Phosphorus acquisition and utilisation in crop legumes under global change. Curr Opin Plant Biol. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2018.05.012

Parsons, A.J., Johnson, R., 1988. Use of a model to optimize the interaction between frequency and severity of intermittent defoliation and to provide a fundamental comparison of the continuous and intermittent defoliation of grass. Grass and Forage Science 43, 59.

Patês, N.M.D.S., Pires, A.J.V., Carvalho, G.G.P.D., Oliveira, A.C., Fonsêca, M.P., Veloso, C.M. 2008. Produção e valor nutritivo do capim-tanzânia fertilizado com nitrogênio e fósforo. Revista Brasileira de Zootecnia, *37*, 1935-1939. https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001100005

Pedreira, B.C., Pedreira, C.G.S., Silva, S.C., 2007. Sward structure and herbage accumulation in *Brachiaria brizantha* cultivar Xaraés in response to strategies of grazing. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 42, 281-287.

Penn, C., Camberato, J., 2019. A Critical Review on soil chemical processes that control how soil pH affects phosphorus availability to plants. Agriculture, 9, 6, 120. http://dx.doi.org/10.3390/agriculture9060120.

Pérez-Prieto, L.A., Peyraud, J.L., Delagarde, R., 2013. Does pre-grazing herbage mass really affect herbage intake and milk production of strip-grazing dairy cows? Grass and Forage Science 68, 93–109. https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2012.00876.x.

Pinto, H.S., Sá, T.D.A. 1989. Fluxo de energia e eficiência de conversão na produção de forragem. In: simpósio sobre ecossistemas de pastagens. Jaboticabal, 1989. Anais... Jaboticabal, FUNEP, 1-25.

Potts, S.G., Woodcock, B.A., Roberts, S.P.M., Tscheulin, T., Pilgrim, E.S., Brown, V.K., Tallowin, J.R., 2009. Enhancing pollinator biodiversity in intensive grasslands. Journal of Applied Ecology 46, 369-379. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01609.x

Rai, V.L., Singh, R.P., Singh, S.K., 2020. Significance of pollinators for sustainable agriculture and biodiversity conservation. Indian Horticulture 65, 26-9.

Ramos, B.L.P., Pedreira, M.S., Cruz, N.T., Jardim, R.R., Seixas, A.A., Souza, A.S., Nascimento, L.M.G., Nunes, J.J., Amorim, J.M.S., Evangelista, V.S.S., 2022. Developmental factors for forage plants and their responses under stress conditions. Research, Society and Development 11, e288111435530. https://doi.org/10.33448/rsd-v11i14.35530

Ramos, J.P.F., Santos, E.M., Cruz, G.R.B., Pinho, R.M.A., Freitas, P.M.D., 2015. Effects of harvest management and manure levels on cactus pear productivity. Revista Caatinga 28, 135-142.

Ramos, J.P.F., Souza, J.T.A., Santos, E.M., Pimenta Filho, E.C., Ribeiro, O.L., 2017. Growth and Productivity of *Nopalea cochenillifera* in function of different planting densities in cultivation with and without weeding. Revista Electronica de Veterinaria 18, 1-12.

Resende, S.A., Resende Júnior, J.C. 2011. Interferência dos ventos no cultivo de plantas: efeitos prejudiciais e práticas preventivas. Enciclopédia Biosfera, 7, 12, 1-6.

Rivas, R., Falcão, H.M., Ribeiro, R.V., Machado, E.C., Pimentel, C., Santos, M.G. 2016. Drought tolerance in cowpea species is driven by less sensitivity of leaf gas exchange to water deficit and rapid recovery of photosynthesis after rehydration. South African Journal of Botany, 103, 1, 101-107. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.08.008

Sanaei, A., Chahouki, M.A.Z., Ali, A., Jafari, M., Azarnivand, H., 2018. Abiotic and biotic drivers of aboveground biomass in semi-steppe rangelands. Science of the Total Environment 615, 895-905. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.010

Schippers, J.H.M., Schmidt, R., Wagstaff, C., Jing, H.C. 2015. Living to die and dying to live: The survival strategy behind leaf senescence. Plant Physiology, 169, 2, 914-930. https://doi.org/10.1104/pp.15.00498

Silva, C.T.R., Bonfim-Silva, E.M., Silva, T.J.A., Pinheiro, E.A.R., Vieira, J.J., Ferraz, A.P.F. 2020a. Yield component responses of the *Brachiaria brizantha* forage grass to soil water availability in the Brazilian Cerrado. Agriculture, 10, 1, 13. https://doi.org/10.3390/agriculture10010013

Silva, S.C., Sbrissia, A.F., Pereira, L.E.T., 2015. Ecophysiology of C_4 forage grasses: understanding plant growth for optimising their use and management. Agriculture, 5, 598-625. https://doi.org/10.3390/agriculture5030598.

Silva, S.C., Bueno, A.A.O., Carnevalli, R.A., Silva, G.P., Chiavegato, M.B., 2020b. Nutritive value and morphological characteristics of Mombaça grass managed with different rotational grazing strategies. J Agric Sci 157, 592-598. https://doi.org/10.1017/S0021859620000052

Silveira, M.L., Kohmann, M.M. 2020. Maintaining soil fertility and health for sustainable pastures. In Management strategies for sustainable cattle production in southern pastures. Academic Press, 35-58.

Sjödin, N.E., Bengtsson, J., Ekbom, B., 2008. The influence of grazing intensity and landscape composition on the diversity and abundance of flower-visiting insects. Journal of Applied Ecology 45, 763-772. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01443.x

Sollenberger, L.E., Agouridis, C.T., Vanzant, E.S., Franzluebbers, A.J., Owens, L.B., 2012. Prescribed grazing on pastureland, in: Nelson, J. (Ed.), Pastureland and Hayland Practices: Assessment, Recommendations, and Knowledge Gaps. Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service, pp. 111–204.

Sollenberger, L.E., Dubeux Junior, J.C.B., 2022. Warm-climate, legume-grass forage mixtures versus grass-only swards: An ecosystem services comparison. Revista Brasileira de Zootecnia 51, e20210198. https://doi.org/10.37496/rbz5120210198

Sollenberger, L.E., Kohmann, M.M., Dubeux Jr., J.C.B., Silveira, M.L., 2019. Grassland management affects delivery of regulating and supporting ecosystem services. Crop Sci. https://doi.org/10.2135/cropsci2018.09.0594

Sollenberger, L.E., Newman, Y.C., Macoon, B., 2020. Pasture design and grazing management, in: Moore, K.J., Collins, M., Nelson, C.J., Redfearn, D.D. (Eds.), Forages: The Science of Grassland Agriculture. John Wiley & Sons Ltd, New York, pp. 803-814.

Souza, E.M.B., Rocha, W.S.D., Soares, N.A., Martins, C.E., Souza Sobrinho, F., Almeida, M.I.V., Rodrigues, P., Moreira, G.R. 2021. Water deficit tolerance in genotypes of *Urochloa* spp. Revista de Ciências Agrárias, 44, 2-3. https://doi.org/10.19084/rca.21314

Srivastava, D., Shamim, M.D., Kumar, M., Mishra, A., Maurya, R., Sharma, D., Pandey, K.N.S. 2019. Role of circadian rhythm in plant system: an update from development to stress response. Environmental and Experimental Botany, 162, 1, 256-271. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.02.025

Tabosa, J.N., Santos, D.C., Tavares Filho, J.J., Nascimento, M.M.A., Farias, I., Lira, M.A., Gomes, R.V., Melo, P.C.S., Santos, M.C.S. 1990. Eficiência da adubação orgânica anual sobre a produção de matéria seca e uso de água em sorgo forrageiro no Agreste semi-árido de Pernambuco. Pesquisa Agropecuária Pernambucana, 7, 7-20.

Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I.M., Murphy, A., 2017. Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal, Sexta. ed. Artmed, São Paulo, Brasil.

Taiz, L.; Zeiger, E. Fisiologia vegetal. Porto Alegre: Artmed, 2004. 722 p.

Tamele, O.H., Sá, O.A.A.L., Bernardes, T.F., Lara, M.A.S., Casagrande, D.R., 2017. Optimal defoliation management of brachiaria grass–forage peanut for balanced pasture establishment. Grass and Forage Science 73, 522-531. https://doi.org/10.1111/gfs.12332

Teixeira, S.O., Teixeira, R.O., Santos, V.B., Carvalho, M.A.C., Yamashita, O.M., 2018. Phosphorus and nitrogen doses in the production of *Brachiaria híbrida* cv. Mulato II. Revista Ceres 65, 28-34. https://doi.org/10.1590/0034-737X201865010005

Tenorio-Escandón, P., Ramírez-Hernández, A., Flores, J., Juan-Vicedo, J., Martínez-Falcón, A.P., 2022. A systematic review on *Opuntia* (Cactaceae; Opuntioideae) flower-visiting insects in the world with emphasis on Mexico: Implications for biodiversity conservation. Plants. https://doi.org/10.3390/plants11010131

Tesk, C.R.M., Pedreira, B.C., Pereira, D.H., Pina, D.S., Ramos, T.A., Mombach, M.A., 2018. Impact of grazing management on forage qualitative characteristics: a review. Scientific Electronic Archives 11, 188-197. https://doi.org/10.36560/1152018667

Thomann, M., Imbert, E., Devaux, C., Cheptou, P.O., 2013. Flowering plants under global pollinator decline. Trends Plant Sci. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.04.002.

Toor, M.D., Adnan, M., Rehman, F., Tahir, R., Saeed, M.S., Khan, A.U., Pareek, V., 2021. Nutrients and Their importance in agriculture crop production: a review. Indian Journal of Pure & Applied Biosciences, 9, 1, 1-6. http://dx.doi.org/10.18782/2582-2845.8527.

Van Cleef, F.D.O.S., Van Cleef, E.H.C.B., Santos, D.J.A., Ribas, C.M.H., Longhini, V.Z., Ruggieri, A.C. 2021. Physiological and behavioural responses of sheep grazing in a tropical silvopastoral system. Animal Production Science, 61, 1564-1574.

Villanueva, J.F., Negrete, L.F., Villalobos, J.C., Britton, C.M., 2008. Response of six tropical grasses to prescribed burning in the west coast of Mexico. Técnica Pecuaria de México 46, 397-411.

Vrignon-Brenas, S., Celette, F., Piquet-Pissaloux, A., Jeuffroy, M.H., David, C., 2016. Early assessment of ecological services provided by forage legumes in relay intercropping. European Journal of Agronomy 75, 89-98. https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.01.011.

Wezel, A., Soboksa, G., McClelland, S., Delespesse, F., Boissau, A., 2015. The blurred boundaries of ecological, sustainable, and agroecological intensification: Areview. Agronomy for Sustainable Development, 35, 128-1295.

Whitehead, D.C. 2000. Nutrient elements in grassland: soil-plant-animal relationships. CABI Pub, London.

Whitehead, F.H. Wind as a factor in plant growth. In: HUDSON, J. P (org.). Control of the plant environment. London: Butterworth Scientific Publications. 1957. p. 84-95.

Woodcock, B.A., Savage, J., Bullock, J.M., Nowakowski, M., Orr, R., Tallowin, J.R.B., Pywell, R.F., 2014. Enhancing floral resources for pollinators in productive agricultural grasslands. Biol Conserv 171, 44-51. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.01.023

Yuan, Z.Q., Fang, C., Zhang, R., Li, F.M., Javaid, M.M., Janssens, I.A., 2019. Topographic influences on soil properties and aboveground biomass in lucerne-rich vegetation in a semi-arid environment. Geoderma 344, 137-143. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.03.003

Zanini, G.D., Sbrissia, A.F., 2013. Prescribed burning of pastures: a management tool? Revista de Ciências Agroveterinárias 12, 94-103.

03

Melhoramento Genético de Forrageiras Tropicais

Antonio Vander Pereira[1]
Juarez Campolina Machado[1]

Introdução

A pecuária brasileira é predominantemente baseada no uso de pastagens, visto que a maior parte do país apresenta condições edafoclimáticas favoráveis ao cultivo de forrageiras. Esta constitui a forma mais econômica de alimentação dos rebanhos, quando comparado ao uso das forragens processadas. Estima-se que a área de pastagens, no Brasil, esteja próxima de 160 milhões de hectares, sendo que 100 milhões de hectares estão ocupados com pastagens cultivadas, distribuídas pelos principais biomas: Cerrado, Pantanal, Mata Atlântica, Amazônia, Caatinga e Pampa (IBGE, 2017). Em cada um desses biomas, o número de ambientes é também extremamente variado, o que implica na necessidade da utilização de forrageiras adaptadas às diferentes condições ambientais.

A consistente evolução da pecuária nacional, conforme vem ocorrendo nas últimas décadas, coincide com o aumento do cultivo de forrageiras melhoradas pela Embrapa e por diversas instituições de pesquisa, a grande maioria públicas. O melhoramento de forrageiras pode ser considerado como uma das atividades que mais contribuíram para a inovação da pecuária, tendo sido responsável pelo

[1] Embrapa de Gado de Leite, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil. E-mail: vander.pereira@embrapa.br; juarez.machado@embrapa.br

desenvolvimento de cultivares que promoveram o aumento da produção e da produtividade de carne e leite. Atualmente, as cultivares melhoradas pela Embrapa predominam nas pastagens de todos os biomas nacionais, bem como são cultivadas na maioria dos países tropicais.

O número de plantas utilizadas como forrageiras é bastante elevado, sendo que a estrutura genética das populações, as formas de propagação e a capacidade de adaptação às condições ambientais são bastante variáveis entre as espécies. Esses fatores apresentam implicações sobre a escolha das melhores estratégias de melhoramento genético para cada espécie. Considerando a grande diversidade das forrageiras, este capítulo pretende concentrar as discussões sobre o melhoramento das espécies tropicais, visto que essas apresentam boa adaptação a maior parte do país e possuem germoplasma ainda pouco explorado pela pesquisa. Esses fatores aumentam a possibilidade de obtenção de ganhos genéticos rápidos com base no uso de métodos de seleção mais simples.

Histórico do Melhoramento de Forrageiras

Até meados da década de 1960, a pecuária no Brasil era concentrada nas regiões Sul, Sudeste e parte do Nordeste, sendo baseada no uso de pastagens formadas com espécies nativas ou com gramíneas africanas naturalizadas, como os capins colonião (*Panicum maximum* Jacq.), jaraguá (*Hyparrhenia rufa* (Nees) Stapf) e gordura (*Melinis minutiflora* P. Beauv.) (Teixeira e Espanhol, 2014). No início da década de 1970, o governo brasileiro estabeleceu um programa de incentivos à atividade pecuária, visando o desenvolvimento econômico, principalmente, das regiões do Cerrado e da Amazônia. Essa política resultou em forte crescimento da pecuária e, por consequência, aumentou a demanda por cultivares forrageiras mais produtivas, de melhor qualidade e adaptadas a diferentes ambientes, principalmente aos solos de baixa fertilidade e ácidos presentes na região do Cerrado.

A primeira estratégia para atendimento rápido dessa demanda foi a introdução de cultivares melhoradas em outros países, com destaque para a *Brachiaria decumbens* Stapf cv. Basilisk, trazida da Austrália. A boa adaptação desse material aos solos ácidos e de baixa fertilidade fez dela a mais importante forrageira cultivada por mais de uma década. Contudo, essa cultivar mostrou-se susceptível as cigarrinhas [*Deois flavopicta* (Stal) e *Zulia entreriana* (Berg)] e a infestação dessa praga em uma extensa área de pastagens resultou em grave problema para a pecuária nacional.

Em uma segunda etapa, foram introduzidas coleções de germoplasma de diversas espécies dos gêneros *Brachiaria (Urochloa), Panicum e Pennisetum,* entre outras, o que possibilitou o desenvolvimento de novas cultivares mais produtivas e resistentes a cigarrinhas das pastagens. A disponibilização de cultivares melhoradas de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf (cvs. Marandu e Xaraés) e de *P. maximum* (cvs. Tanzânia e Mombaça), resistentes as cigarrinhas e mais produtivas, foi responsável pela ampliação da área cultivada e o aumento da capacidade de suporte das pastagens.

Por outro lado, muitas outras espécies forrageiras tradicionais, como os capins Setária (*Setaria sphacelata* (Schumach.) Stapf & C.E. Hubb.), Pangola (*Digitaria eriantha* Steud.), Jaraguá [*Hyparrhenia rufa* (Nees) Stapf], Angola [*Urochloa mutica* (Forssk.) T.Q. Nguyen], Andropogon (*Andropogon gayanus* Kunth) e Gordura, antes bastante utilizadas, foram gradativamente sendo abandonadas por não competirem em produção e qualidade com as novas cultivares. Esta situação representa uma grande perda de variabilidade e aumento do risco genético das pastagens, por conta do cultivo de milhões de hectares com um ou poucos genótipos. Importante destacar que as principais espécies de *Brachiaria* e de *Panicum* produzem sementes apomíticas, gerando populações com ausência de variabilidade genética. Assim, a simples quebra de resistência a uma praga ou doença pode representar um enorme risco para a pecuária nacional.

O sucesso do melhoramento dos capins *Brachiaria* e *Panicum* estão ligadas aos processos de introdução, avaliação e recombinação do germoplasma, fatos que possibilitaram a identificação e/ou a obtenção de novas combinações genéticas superiores em relação as forrageiras existentes. Por outro lado, este mesmo enfoque de melhoramento não foi aplicado a outras espécies, o que também poderia ter possibilitado a identificação ou obtenção de novos genótipos com elevado potencial forrageiro.

Considerando a extensão e a variação edafoclimática das áreas com pastagens, a importância socioeconômica da pecuária e a predominância absoluta de poucas espécies e genótipos cultivados, torna-se necessário o desenvolvimento de programas de melhoramento com outras espécies forrageiras. A adoção dessa estratégia promoverá o aumento da diversidade genética e da sustentabilidade das pastagens, bem como possibilitará a incorporação de áreas sujeitas a estresses bióticos e abióticos, atualmente não utilizadas pela falta de cultivares adaptadas.

Métodos de Melhoramento

A estrutura reprodutiva e a forma de propagação de uma espécie indicam a amplitude e a forma de distribuição da variabilidade entre e dentro das populações. Estas informações são básicas na escolha das estratégias mais adequadas para cada espécie em função do estágio de desenvolvimento e dos objetivos dos programas de melhoramento.

A maioria das espécies forrageiras, inclusive aquelas com propagação vegetativa preferencial, apresenta uma fase de reprodução sexual com produção de sementes, fenômeno que pode se expressar naturalmente ou sob condições especiais. Isto possibilita o emprego dos mesmos métodos de melhoramento delineados, conforme a natureza das espécies. Portanto, o método de melhoramento indicado para cada espécie depende do mecanismo principal de reprodução, ou seja, autogamia ou alogamia, da amplitude da variabilidade genética, valor da herdabilidade da característica de interesse e da forma de propagação, quer seja por meio de propágulos vegetativos ou por sementes sexuais e apomíticas.

As principais gramíneas forrageiras tropicais cultivadas no Brasil são plantas alógamas, com propagação vegetativa por meio de colmos (ex: Capim-elefante) ou por sementes apomíticas (*Brachiaria* e *Panicum*). De forma geral, as cultivares dessas espécies são clones altamente heterozigóticos e com grande vigor vegetativo. Dessa forma, os cruzamentos entre genótipos devem ser direcionados para manter essa heterozigosidade. Por outro lado, as forrageiras leguminosas são quase sempre espécies autógamas e os cruzamentos para geração de variabilidade devem ser seguidos de gerações de autofecundação e seleção de genótipos de interesse até alcançar novamente a condição homozigótica.

Considerando que as forrageiras tropicais apresentam ampla variabilidade e germoplasma ainda pouco explorado, as estratégias ou métodos de melhoramento mais comumente empregados são a introdução, coleta e seleção de genótipos, hibridação intra e interespecífica e seleção recorrente fenotípica. Normalmente, a seleção fenotípica é mais eficiente para transferência de caracteres qualitativos e com alta herdabilidade. Para os caracteres quantitativos, nos quais estão envolvidos a contribuição individual e interação entre vários genes e cuja expressão fenotípica é mais sujeita aos efeitos ambientais, o uso da seleção baseada em testes de progênies pode resultar em ganhos mais significativos. Assim, a escolha do método de melhoramento mais adequado dependerá da estrutura reprodutiva da espécie forrageira, dos objetivos do programa, da natureza e herdabilidade dos caracteres de interesse e da variabilidade genética disponível.

De forma resumida, os programas de melhoramento de forrageiras apresentam as seguintes etapas: escolha da espécie a ser melhorada em função do potencial de produção; qualidade da forragem; adaptação as condições ambientais onde será cultivada e disponibilidade de variabilidade genética no germoplasma; definição das características de interesse a serem melhoradas; identificação das fontes de variação genética dentro do germoplasma disponível; seleção e recombinação de genitores, considerando a complementação de caracteres de interesse e distância genética; seleção entre/dentro de progênies segregantes; comparação dos genótipos melhorados com as cultivares referência; avaliação da adaptação ambiental, produção de forragem e desempenho e animal; e, disponibilização das novas cultivares (Pereira et al., 2001).

A introdução de germoplasma e a seleção de genótipos, constituiu o principal método de melhoramento utilizado para forrageiras tropicais até recentemente. Este método foi responsável pela obtenção das principais cultivares forrageiras em uso no Brasil. O método apesar de simples, rápido e de menor custo, tende a se esgotar, visto estar baseado na seleção entre genótipos já existentes, obtidos por meio de coleta ou introdução de outros programas de melhoramento (Pereira et al., 2001). Portanto, este método é recomendado para início dos programas de melhoramento devido as vantagens de rapidez e baixo custo, observando as premissas citadas anteriormente.

A partir dos anos 2000, foi intensificada a utilização de cruzamentos como principal estratégia de geração de variabilidade e obtenção de genótipos superiores. Entre as novas cultivares lançadas pelos programas de melhoramento, tem se destacado os híbridos intra ou interespecíficos, reunindo características favoráveis dos seus genitores. Como exemplos de utilização da hibridação interespecífica no melhoramento de forrageiras podemos citar as cultivares cvs. Paraíso e BRS Capileto resultantes do cruzamento de *Pennisetum purpureum* Schumach. e *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. e os híbridos entre espécies de *Brachiaria* sp. (cvs. BRS Ypiporã, Mavuno, Mulato e Cayana). Vale destacar ainda, que na última década, os programas de seleção recorrente de longo prazo foram estabelecidos para as principais espécies, com obtenção de resultados bastante promissores (Miles et al., 2006; Reis et al., 2008; Barrios et al., 2013).

Este capítulo, não tem por objetivo descrever detalhadamente os métodos de melhoramento e modelos experimentais que podem ser adotados para cada espécie. Para tanto, sugere-se recorrer a publicações de diversos autores, nas quais os métodos de melhoramento são apresentados de forma didática e detalhada (Allard, 1999; Nass et al., 2001; Borem et al., 2021 Acquaah, 2012).

Plantas Forrageiras

Milhares de plantas podem servir de alimento aos herbívoros, sendo pastejadas, em ambientes naturais ou cultivados, por animais silvestres e domesticados. Considera-se como forrageiras as plantas usadas para alimentação do gado, seja como pasto ou conservadas na forma de feno ou silagem. De forma geral, as plantas forrageiras apresentam como características básicas a capacidade de rebrota após o corte ou pastejo e a persistência que é a capacidade de sobrevivência ao longo do tempo. Além de boa aceitabilidade, acumulam nutrientes importantes para a nutrição animal. Essas características foram incorporadas, gradativamente, ao longo de milhares de anos, por efeito da seleção natural decorrente do pastejo de animais herbívoros.

No caso das espécies de plantas tropicais, várias podem ser consumidas pelos animais, contudo, muitas delas ainda não foram adequadamente avaliadas quanto ao potencial forrageiro. Entre as razões para essa situação estão a concentração de esforços de melhoramento em poucas espécies, a baixa representatividade genética do germoplasma conhecido e a falta de avaliação de espécies coletadas no seu ambiente natural.

Plantas de diversos gêneros e espécies podem ser utilizadas no arraçoamento animal, contudo, a maioria das forrageiras cultivadas pertence as famílias *Poaceae* e *Leguminoseae*.

Gramíneas

À família *Poaceae* (gramíneas) pertencem 75% das espécies de plantas forrageiras as quais apresentam como características básicas: porte herbáceo, ausência de tecido lenhoso, capacidade de produção de sementes, presença de nós nos caules e folhas com bainhas. Entre as gramíneas encontram-se importantes produtoras de grãos (Milho, Trigo e Arroz), combustíveis (Cana de açúcar) e forragem para animais (*Brachiaria, Panicum* e *Pennisetum*).

As gramíneas forrageiras são classificadas em duas categorias quanto a sua adaptação ambiental e eficiência fotossintética: espécies temperadas (plantas C_3) e tropicais (plantas C_4). Normalmente, as espécies temperadas apresentam melhor qualidade, definida em termos do teor proteico, da digestibilidade da matéria seca e do potencial de consumo. A degradação ruminal das gramíneas C_3 ocorre mais rapidamente em decorrência destas apresentarem parede celular mais fina e com menor teor de compostos indigeríveis, como a lignina, em comparação com as

gramíneas tropicais (C_4). Por outro lado, as gramíneas tropicais apresentam maior eficiência fotossintética, sendo mais produtivas em termos de acúmulo de matéria seca.

Comparativamente, a produtividade por animal em pastagens com gramíneas tropicais tem sido mais baixa, em relação ao desempenho obtido nas pastagens temperadas, o que não necessariamente reflete na produção por área. Essa diferença pode ser parcialmente explicada pelo fato das forrageiras temperadas se encontrarem em um estágio de melhoramento mais avançado, com diversas cultivares melhoradas; muitas forrageiras tropicais cultivadas não foram modificadas pelo melhoramento, visando adaptação ao uso em agrossistemas. De forma geral, as forrageiras tropicais são cultivadas em áreas marginais ou de baixa fertilidade e com manejo inadequado das pastagens.

Principais Gêneros e Espécies de Gramíneas Tropicais

Brachiaria Sin. *Urochloa*

O gênero *Brachiaria* (nome comum: braquiária) concentra as principais forrageiras cultivadas nos trópicos (Miles et al., 2004), com destaque para as espécies *B. brizantha, B. decumbens, Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick e *Brachiaria ruziziensis* R. Germ. & C.M. Evrard.

Além de constituírem a base das pastagens nos trópicos, as espécies desse gênero propiciaram o desenvolvimento de uma expressiva indústria de sementes (Valle et al., 2001), sendo responsável por cerca de 85% do mercado de sementes forrageiras comercializadas no Brasil.

As principais cultivares deste gênero são:

Basilisk (*B. decumbens*) - introduzida na década de 1960, apresenta adaptação a solos ácidos e de baixa fertilidade, contudo pela suscetibilidade às cigarrinhas-das-pastagens, tem sido substituída por outras cultivares de braquiária;

Marandu (*B. brizantha*) - lançada em 1984, ainda apresenta papel de destaque nos sistemas de produção animal a pasto, sendo a principal forrageira cultivada no país. Possui como principais características, alta produção de forragem, resistência às cigarrinhas-das-pastagens, rápido estabelecimento, boa cobertura do solo e flexibilidade de manejo;

Xaraés (*B. brizantha*) - Lançada pela Embrapa em 2003 a cultivar Xaraés também recebeu as denominações de MG 5 Vitória e Toledo. A cultivar apresenta crescimento cespitoso, porte alto e florescimento tardio. É indicada para regiões de clima tropical úmido e solos de média a alta fertilidade. Apresenta elevada produção de folhas e proporciona maior produtividade animal por área quando comparada com a cultivar Marandu;

BRS Piatã (*B. brizantha*) - cultivar lançada pela Embrapa em 2007. Apresenta porte médio, crescimento vigoroso e ereto, boa produção de forragem, elevada proporção de folhas e bom valor nutritivo. A cultivar é susceptível as cigarrinhas da cana-de-açúcar (gênero *Mahanarva*) e ao carvão das sementes (*Ustilago operta* Syd);

BRS Paiaguás (*B. brizantha*) - lançada pela Embrapa em 2013 a cultivar apresenta porte baixo, folhas finas, eretas e glabras (sem pelo), colmos finos com bom perfilhamento aéreo e elevada proporção de folhas. A BRS Paiaguás tem como principal vantagem a maior tolerância à seca;

BRS Integra (*B. ruziziensis*) – lançada pela Embrapa em 2021, apresenta elevado valor nutritivo, sendo recomendada para a produção de palhada nos sistemas integrados de cultivo envolvendo lavoura, pecuária e floresta (ILPF);

BRS Ypiporã (*B. brizantha x B. ruziziensis*) – lançada pela Embrapa em 2017, a cultivar é um híbrido interespecífico, com bom valor nutritivo e resistência às cigarrinhas do gênero Mahanarva.

Panicum

A espécie *Panicum maximum* é uma das mais importantes do gênero sendo amplamente utilizada para a produção intensiva de bovinos nas regiões de climas tropical e subtropical, em função do seu elevado potencial produtivo e aceitação por diferentes categorias animais (Jank et al., 2010 e 2011). É a espécie forrageira tropical mais produtiva propagada por sementes, contudo, apresenta dificuldades de manejo sob lotação contínua, prevalecendo, o seu uso na forma de pastejo rotacionado.

As principais cultivares dessa espécie são:

Tanzânia - lançada pela Embrapa em 1990, apresenta alta produtividade, bom valor nutritivo e facilidade de manejo, porém apresenta susceptibilidade à queima das folhas, causada pelo fungo *Bipolaris maydis* (Y.Nisik. & C.Miyake) Shoemaker;

Mombaça - lançada pela Embrapa em 1993, apresenta alta produtividade e valor nutritivo, boa aceitabilidade pelos animais, sendo exigente em fertilidade do solo;

BRS Zuri - lançada pela Embrapa em 2014, apresenta hábito de crescimento cespitoso, porte alto e ereto e florescimento tardio. Apresenta elevado potencial de produção e moderada tolerância ao encharcamento do solo. A cultivar possui boa resistência as cigarrinha-das-pastagens e a mancha foliar;

BRS Tamani - lançada pela Embrapa em 2015, apresenta crescimento cespitoso, porte baixo e ereto e florescimento precoce. Essa forrageira se destaca pela elevada produção de folhas, valor nutritivo (altos teores de proteína bruta e digestibilidade), vigor, resistência às cigarrinhas das pastagens e facilidade de manejo;

BRS Quênia – lançada pela Embrapa em 2017, a cultivar apresenta crescimento cespitoso, porte ereto e florescimento precoce. Essa forrageira se destaca em relação às cultivares Tanzânia e Mombaça por apresentar touceiras de menor porte, maior densidade de folhas, colmos mais finos e menor quantidade de material morto, características que facilitam o manejo e possibilitam melhor aproveitamento da forragem. A cultivar é resistente às cigarrinhas das pastagens e à mancha foliar.

Pennisetum Sin. *Cenchrus*

O gênero *Pennisetum* possui aproximadamente 140 espécies que são utilizadas, principalmente para alimentação animal (Capim-elefante e Capim-quicuio) e produção de grãos (Milheto). O Capim-elefante é considerado a mais importante forrageira do gênero devido ao seu elevado potencial de produção de biomassa, facilidade de adaptação às diversas condições ambientais e alto valor nutritivo (Lira et al., 2010; Pereira et al., 2021). A espécie apresenta ampla variabilidade genética em relação as características morfológicas, reprodutivas, agronômicas e bromatológicas. A espécie é propagada vegetativamente, existindo grande número de variedades disponíveis. Entre as cultivares melhoradas, duas tem se destacado, sendo adotadas por produtores de todo o país.

BRS Capiaçu – lançada pela Embrapa em 2016, apresenta elevado potencial de produção, sendo recomendada para formação de capineira, visando corte e fornecimento como verde picado no cocho ou para produção de silagem de boa qualidade e baixo custo;

BRS Kurumi – lançada pela Embrapa em 2012, apresenta porte baixo e elevada relação folha:colmo, sendo recomendada para pastejo. A cultivar caracteriza-se pelo alto potencial de produção de forragem, alto valor nutritivo e excelente estrutura para pastejo.

Outras gramíneas forrageiras

Cynodon - o gênero *Cynodon* se destaca por apresentar forrageiras de excelente produtividade e qualidade de forragem, resistência ao pisoteio, boa tolerância a solos úmidos e a baixas temperaturas, constituindo importante alternativa para intensificação da produção, sobretudo da atividade leiteira. Duas espécies do gênero e seus híbridos são importantes forrageiras cultivadas no Brasil: *Cynodon dactylon* (L.) Pers. (Gramas Bermudas) e *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst (Grama Estrela). Entre as cultivares destacam-se: Florona, Florarkirk, Cost-cross, Tifton 68, Tifton 85 e BRS Lua (grama estrela roxa).

Andropogon - o gênero inclui várias espécies de gramíneas nativas de regiões tropicais e subtropicais. O Capim-andropogon é a principal espécie do gênero cultivada no Brasil, sendo amplamente utilizada devido à sua resistência à seca e tolerância a solos pobres. Em virtude do seu elevado potencial produtivo, da sua excelente adaptação a solos de baixa fertilidade natural e da sua resistência à cigarrinha-das-pastagens, tem sido utilizado com sucesso em áreas marginais e com baixo nível de uso de insumos. As principais cultivares dessa espécie são Planaltina, Baeti e BRS Sarandi.

Cenchrus - O Capim-buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) é uma gramínea perene de origem africana utilizada principalmente em regiões áridas e semiáridas, devido a sua resistência a seca. Essa espécie pode ser cultivada por sementes ou por meio de propagação vegetativa. No Brasil, a cultivar Aridus é a mais utilizada, principalmente na região Nordeste.

Setaria sphacelata - o Capim-setária é uma forrageira amplamente cultivada em países tropicais e subtropicais devido seu elevado potencial de produção, valor nutritivo, persistência e capacidade adaptativa a uma ampla diversidade de condições ambientais. A espécie caracteriza-se pela tolerância a frio intenso, secas prolongadas e solos encharcados, condições nas quais a maioria das forrageiras tropicais não se adaptam. Assim, o Capim-setária constitui uma alternativa forrageira para cultivo no Brasil em áreas sujeitas a estresses abióticos, possibilitando a utilização de áreas marginais para a formação de pastagens.

Paspalum **-** As espécies do gênero *Paspalum* ocupam lugar de destaque entre as forrageiras tropicais, com grande número de espécies nativas do Brasil, distribuídas por praticamente todos os biomas e regiões do país (Oliveira et al., 2001). A primeira cultivar lançada desse gênero foi o Capim-pojuca (*Paspalum atratum* Swallen), que apresenta alto potencial de produção e adaptação a solos úmidos ou mal drenados (Karia e Andrade, 2001).

Leguminosas Forrageiras

As leguminosas constituem o segundo mais importante grupo de plantas forrageiras. A família *Leguminosae* é caracterizada por produzir sementes em vagens e pela capacidade de fixar nitrogênio em simbiose com bactérias e outros microorganismos. Embora as gramíneas desempenhem um papel mais expressivo na alimentação humana e dos animais, as leguminosas, geralmente, produzem alimentos com melhor valor nutritivo.

As leguminosas forrageiras podem ser consumidas diretamente pelos animais, sob pastejo, em consórcio ou em bancos de proteína (legumineira), ou, ainda, em forma processada (picada verde ou como forragem conservada – feno e silagem). Em todas as situações as leguminosas são utilizadas para promover uma melhoria na qualidade da alimentação animal e, consequentemente, aumentar a produtividade. Essas forrageiras também são cultivadas com o objetivo de melhorar a fertilidade do solo, em função da sua capacidade de fixar nitrogênio.

Assim como as gramíneas, as leguminosas forrageiras são divididas em duas categorias: espécies temperadas e tropicais. Entre as leguminosas temperadas, destacam-se a Alfafa (*Medicago sativa* L.), o Trevo branco (*Trifolium repens* L.) e Trevo vermelho (*Trifolium pratense* L.) e o Cornichão (*Lotus corniculatus* L.). Entre as leguminosas tropicais, as espécies mais importantes são o Estilosantes [*Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw. var. *guianensis*], a Leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit) e o Amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* Krapov. & W.C. Greg.).

Stylosanthes - o gênero apresenta grande número de espécies nativas do Brasil sendo as de maior importância forrageira o *S. guianensis, Stylosanthes capitata* Vogel· *e Stylosanthes macrocephala* M.B. Ferreira & Sousa Costa*.* O estilosantes é utilizado como banco de proteína, para produção de feno e em pastos consorciados, principalmente em sistemas de baixo a médio uso de insumos (Karia et al., 2022). As cultivares Campo Grande, BRS Bela e Mineirão são as mais cultivadas no Brasil.

Arachis - o gênero apresenta cerca de 80 espécies sendo que grande parte são nativas do Brasil. O amendoim forrageiro é utilizado principalmente em consórcio de pastagens, com o objetivo de melhorar o valor nutritivo da forragem e a fixação de nitrogênio atmosférico. Essa forrageira pode também ser utilizada como elemento paisagístico e na proteção de taludes. A principal espécie para uso forrageiro é a *A. pintoi*, com destaque para as cultivares BRS Oquira, BRS Mandobi, Belmonte e Amarillo (Ramos et. al., 2022).

Leucaena - a Leucena (*L. leucocephela)* é a forrageira arbórea mais utilizada nos trópicos (Barcellos et al., 2022). Essa espécie se destaca por apresentar crescimento rápido, produzir forragem de alto valor nutritivo e boa adaptação a solos pobres. As cultivares mais utilizadas no Brasil são Cunningham e Peru.

Espécies com Potencial Forrageiro Adaptadas ao Semiárido

O bioma Caatinga é rico em plantas nativas que tradicionalmente são utilizadas na alimentação animal (Lima, 1996; Santos et al., 2010; Silva et. al., 2022;). Uma vez que essas espécies já apresentam boa adaptação as condições edafoclimáticas da região semiárida, considera-se importante a realização de um trabalho de coleta e avaliação do germoplasma com maior potencial forrageiro. O germoplasma coletado poderá servir de base para o estabelecimento de programas de melhoramento, visando o desenvolvimento de cultivares adaptadas a região.

Entre as plantas forrageiras com maior utilização na região semiárida destacam-se a Palma forrageira (diversas espécies) e a leguminosa arbustiva Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.).

Sabiá - a espécie ocorre naturalmente na caatinga nordestina, sendo utilizada como recurso forrageiro, madeireiro e para formação de cerca viva. A planta se destaca pela produção de forragem de boa qualidade e tolerância a seca; contudo apresenta acúleos que dificulta o manejo (Silva et al., 2022). O melhoramento para obtenção de cultivares sem acúleos e maior facilidade de manejo está entre os principais objetivos para a espécie.

Palma forrageira - pertence à família das Cactáceas, constituída de várias espécies adaptadas às condições de longos períodos de estiagem. Contudo, as espécies *Opuntia fícus-indica* Mill e a *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck têm sido as mais utilizadas para o desenvolvimento de cultivares melhoradas. Essa forrageira caracteriza-se por apresentar alta eficiência no uso de água e boa produção de matéria verde e seca,

constituindo-se em importante reserva de alimentos para regiões áridas e semiáridas. Desde 1985, o Instituto Agronômico de Pernambuco – IPA em parceria com a Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, desenvolvem um programa de melhoramento dessa forrageira por meio da introdução e realização de cruzamentos (Santos et al., 2005). Os principais clones cultivados são: Miúda, Orelha de Elefante Africana, Gigante, IPA 20, Copena, Orelha de Onça e Redonda.

Programas de Melhoramento de Forrageiras no Brasil

Atualmente, os programas de melhoramento de forrageiras tropicais em desenvolvimento no Brasil são em sua maioria coordenados pela Embrapa e outras instituições públicas, sendo ainda pequena a participação da iniciativa privada. Contudo, nos últimos anos, tem havido maior interesse de empresas privadas em atuar no mercado de desenvolvimento de cultivares, sobretudo do gênero *Brachiaria*. Os principais programas de melhoramento de espécies de forrageiras tropicais são apresentados na Figura 1.

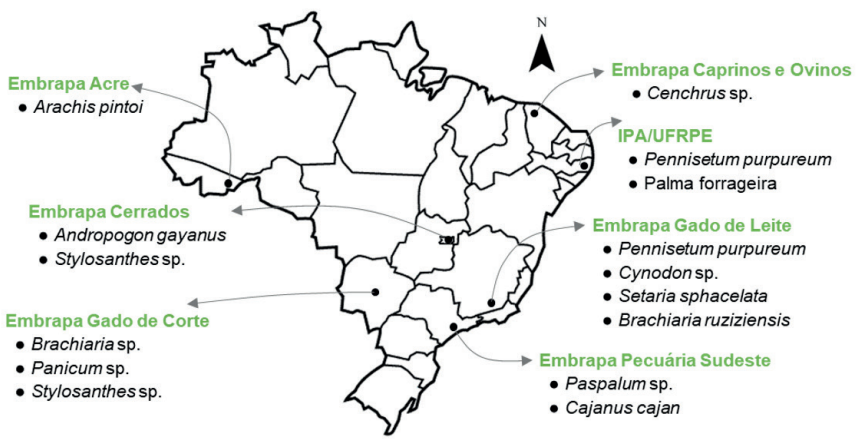

Figura 1. Principais programas de melhoramento de forrageiras tropicais em desenvolvimento em instituições públicas de pesquisa.

Apesar da grande diversidade vegetal, o Brasil não apresenta gramíneas nativas com características favoráveis para uso como forrageiras, como a boa aceitabilidade, qualidade nutricional e elevado potencial de produção. A exceção se faz em relação a algumas espécies do gênero *Paspalum*. Por outro lado, importantes leguminosas forrageiras apresentam ocorrência natural no Brasil, com destaque para

os gêneros *Arachis* e *Stylosanthes*. Por esta razão, o desenvolvimento da pecuária nacional foi, inicialmente, baseado na introdução de gramíneas, principalmente africanas.

Acredita-se que as primeiras forrageiras africanas foram introduzidas no Brasil de forma fortuita, a partir do início do século XVII. Sementes de várias espécies vieram no meio da palhada que servia de cama nos navios com tráfico de escravos (Chase, 1944; Filgueiras, 1990). Diversos capins podem ter sido introduzidos desta forma, entre os quais se destacam o Capim-gordura (*M. minutiflora*), Capim-colonião (*P. maximum*) e o Capim-jaraguá (*H. rufa*). Estes capins apresentaram excelente adaptação ao Brasil e constituíram a base das pastagens até meados da década de 1970.

A partir da década de 1980, em decorrência do processo de intensificação da produção pecuária, foram realizados diversos processos de introdução de cultivares melhoradas e de coleções de germoplasma, bem como, iniciados os primeiros programas de melhoramento de forrageiras no Brasil. Esses programas foram muito bem sucedidos, sendo responsáveis pelo desenvolvimento das principais forrageiras atualmente em cultivo no Brasil (Figura 2).

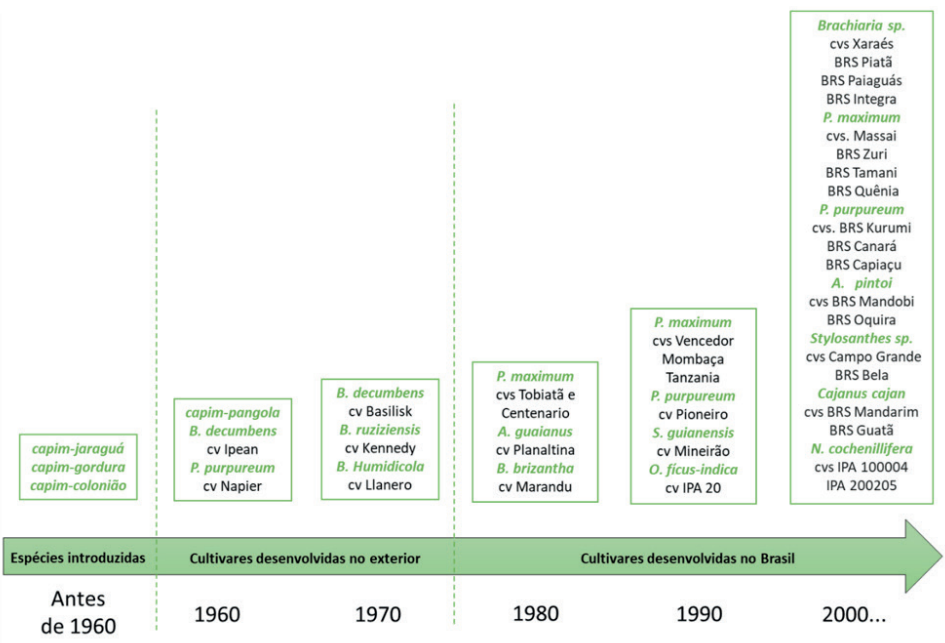

Figura 2. Evolução da disponibilização de cultivares de forrageiras, no Brasil.

Além de elevado potencial de produção e resistência a insetos praga, as cultivares melhoradas (Figura 3) apresentam uma ampla variação de características morfológicas e adaptativas a diversas condições de estresses bióticos e abióticos. Entretanto, para a escolha da cultivar mais adequada para cada propriedade deve-se observar não somente o potencial produtivo e adaptação macro ambiental da forrageira, mas também as condições de cultivo e de manejo, topografia, fertilidade do solo e a resistência em relação às pragas e doenças prevalentes na região.

Figura 3. Forrageiras tropicais melhoradas para pastejo (A = *Brachiaria,* cv. *Xaraés*; B = *Panicum*, cv. BRS Zuri*;* C = Capim-elefante, cv. BRS Kurumi), picado verde e silagem (D = Capim-elefante, cv. BRS Capiaçu), leguminosa para consorciação (E = *Arachis*, cv. BRS Mandobi) e adaptadas ao clima semiárido (F = Palma forrageira, cv. Miúda).

Objetivos do Melhoramento de Forrageiras

O melhoramento genético de plantas forrageiras deve ser dirigido para a obtenção e(ou) seleção de materiais superiores que possam aumentar a quantidade

e(ou) qualidade da forragem produzida, a eficiência na produção animal e, consequentemente, os lucros da exploração pecuária. Dessa forma, o que se busca não é apenas um melhor comportamento agronômico da planta, mas sim um melhor desempenho na produção do animal - carne ou leite (Valle et al., 2001). Portanto, não basta a planta forrageira ser bem adaptada ao solo e clima, apresentar boa produção de massa de forragem e ter resistência a pragas e doenças, sobretudo, uma boa forrageira deve promover um melhor desempenho produtivo animal, bem como a sustentabilidade e rentabilidade do sistema de produção. Isto implica em um processo de avaliação e seleção de novos genótipos mais oneroso e demorado, tendo em conta a necessidade de considerar a complexa relação ambiente-planta-animal.

Embora o objetivo central do melhoramento de forrageiras seja o aumento da produção de biomassa e da qualidade da forragem visando obter um melhor desempenho animal, o desenvolvimento de cultivares melhoradas pode ter por objetivo a incorporação de características específicas, como resistência a pragas, melhor arquitetura da planta, elevada produção de sementes, melhor distribuição da produção de forragem ao longo do ano e outras. A alteração das características morfológicas, químicas e adaptativas as condições de estresses bióticos e abióticos estão entre os principais objetivos dos programas de melhoramento de forrageiras (Tabela 1).

Tabela 1. Principais objetivos dos programas de melhoramento de forrageiras tropicais no Brasil

Espécie[1]	Objetivos do melhoramento	Referência
Andropogon gayanus	Produtividade, velocidade de estabelecimento, uniformidade e vigor	Batista & Godoy (1995)
Arachis spp.	Produtividade, cobertura de solo, resistência a pragas e doenças e produção de sementes	Assis et al. (2008)
Pennisetum purpurem e *Cenchrus* spp.	Produtividade, valor nutritivo, propagação por sementes, produção e qualidade de sementes, adaptação a colheita mecanizada, adaptação ao pastejo, resistência às cigarrinhas, tolerância a baixas temperaturas, silagem, energia	Pereira et al. (2001); Pereira & Lédo (2010); Diz & Schank (1993), Hussey & Bashaw (1996)
Cynodon dactylon e *Cynodon nlemfunsi*s	Produtividade, resistência às cigarrinhas, tolerância a baixas temperaturas, propagação por sementes, fenação	Benites et al. (2017)
Panicum maximum	Produtividade de folhas, resistência a Bipolaris, produção de sementes	Jank et al. (2005, 2008); Resende et al. (2004)
Stylosanthes	Produção de sementes, produtividade, resistência a antracnose	Simeão et al. (2006)
Paspalum spp.	Produtividade, valor nutritivo, resistência a ergot (fungo), fatores antinutricionais	Burton (1989) Schrauf et al. (2003); Batista & Godoy (2000)
Brachiaria brizantha	Resistência às cigarrinhas, valor nutritivo, adaptação a solos ácidos, produção de sementes, estacionalidade	Miles & Valle (1996); Valle et al. (2009)
B humidicola	Produtividade, valor nutritivo, produção e qualidade de sementes	Valle et al. (2009)
B decumbens	Resistência às cigarrinhas, produtividade, valor nutritivo	Miles & Valle (1996); Valle et al. (2009)
B ruziziensis	Resistência as cigarrinhas, vigor, persistência, tolerância ao sombreamento	Souza Sobrinho et al. (2010)
Opuntia ficus-indica, *Napalea cochenillifera*	Resistencia a cochonilha do carmim, produtividade	Santos et al. (2005)

[1] Os nomes científicos completos, bem como as sinonímias das espécies forrageiras e dos seus classificadores podem ser consultados em https://www.tropicalforages.info/text/intro/index.html

A descrição das principais características a serem consideradas no melhoramento genético de forrageiras tropicais, visando o desenvolvimento de novas cultivares, são:

I. Produtividade de matéria-seca

Os programas de melhoramento buscam o aumento do potencial produtivo das forrageiras, medido pela produtividade de matéria seca. Entretanto, além da produtividade de matéria-seca total, a produção de folhas é um caráter de grande importância, visto ser este um dos principais fatores associados a qualidade da forragem, uma vez que as folhas apresentam melhor valor nutritivo em relação aos colmos e hastes. Portanto, quanto maior a produtividade de matéria-seca de folhas, melhor será a qualidade nutricional da forrageira, e consequentemente seu valor como alimento para os animais.

II. Estacionalidade da produção

A maioria das forrageiras tropicais concentra a produção de forragem na época chuvosa do ano, com acentuado decréscimo na produção de matéria seca na época do inverno, período coincidente com a diminuição no comprimento do dia, ocorrência de baixas temperaturas e menor precipitação pluviométrica. Um dos objetivos mais importantes do melhoramento de forrageiras tropicais é a seleção de genótipos com distribuição mais equitativa da produção de biomassa durante o ano, reduzindo a necessidade de suplementação do pasto com alimentos volumosos e concentrados. Uma das estratégicas utilizadas para alcançar este objetivo é a seleção de genótipos com florescimento tardio. Sabe-se que durante o florescimento as plantas redirecionam as energias para o esforço reprodutivo, com consequente redução do crescimento vegetativo e valor nutritivo da forragem. Vale ressaltar que a maioria das espécies florescem na época da seca, exatamente no período de maior carência de alimentos para o gado.

III. Valor nutritivo e qualidade

O valor nutritivo refere-se à composição química e a digestibilidade da forragem. Por seu turno, o conceito de qualidade é mais amplo, sendo representado pela soma desses fatores com o consumo voluntário, que está diretamente correlacionado com o desempenho animal. Forrageiras tropicais (C_4) são caracterizadas por apresentar baixos teores de carboidratos solúveis e pela elevada

proporção de parede celular, consequentemente, de carboidratos estruturais. As forrageiras tropicais apresentam ampla variação para os componentes de qualidade e valor nutritivo, contudo a sua utilização nos programas de melhoramento tem sido pouco explorada, visto que maior atenção tem sido dada a produção de forragem e resistência a pragas.

IV. Fatores antiqualitativos

Os fatores de antiqualitativos podem ser de natureza química ou estrutural e sua determinação é realizada por meio de análises bromatológicas, anatômicas e histoquímicas. Os principais fatores químicos que afetam a qualidade das forragens são os alcalóides, compostos fenólicos e as substanciais terpênicas, enquanto os estruturais são a arquitetura tissular, as células lignificadas e a sílica (Launchbaugh, 2001; Jerba et al., 2004). A forragem pode apresentar baixa de qualidade pela presença de componentes antiqualitativos que podem afetar o consumo e o aproveitamento de nutrientes pelos animais inibindo a fermentação no rúmen, bem como em determinadas situações provocar até a morte por intoxicação. Estudos realizados por Bhat et al. (2013) demonstraram a existência de variabilidade na concentração de componentes antiqualitativos em diversas espécies. Portanto, a seleção para redução desses fatores pode constituir importante objetivo para algumas espécies visando evitar problemas futuros com o uso das cultivares melhoradas.

V. Tolerância a fatores abióticos

As principais condições ambientais que afetam o desempenho das forrageiras são a salinidade, toxidez por alumínio, baixos níveis de nutrientes, seca, alagamento, calor e frio. Estes fatores causadores de estresses têm sido responsáveis pela redução da capacidade de produção forrageira, em diversas regiões brasileiras, com sérios impactos econômicos no sistema produtivo. Atualmente, a maioria das forrageiras tropicais cultivadas não apresenta boa adaptação a solos com níveis elevados de salinização, alumínio tóxico e baixo teor de nutrientes. Em relação aos solos salinos o problema é mais localizado na região semiárida, enquanto que a toxidez por alumínio e baixos níveis de fósforo e nitrogênio ocorrem em todas as regiões brasileiras. Os fatores influenciados pelo clima, também tem provocado a redução da produção das forrageiras, com destaque para o estresse térmico causado pelo frio, na região sul, a seca na região Nordeste e o encharcamento dos solos, na região Amazônica.

O desenvolvimento de cultivares tolerantes a estas condições de estresse ambiental pode promover o aumento da produção de forragem, bem como a

incorporação ao sistema de produção de uma extensa área sujeita a ocorrência desses fatores.

VI. Resistência a pragas e doenças

As pragas e doenças podem causar vários tipos de prejuízos à produção de forragem, como destruição das folhas e caules, redução da capacidade de produção, perda de qualidade da forragem, redução da capacidade de competição e persistência da planta.

No Brasil, têm sido registrados danos causados por insetos às pastagens, principalmente pelo curuquerê dos capinzais [*Mocis latipes* (Guenée, 1852)], lagarta do cartucho do milho [*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797)], cupim (*Corniterme* ssp.), formigas (*Atta* ssp.) e percevejos [*Collaria oleosa* (Distant, 1883) e *Scaptocoris castanea* (Perty, 1830)]. Contudo, às cigarrinhas-das-pastagens (diversas espécies) é a praga que causa maior dano econômico às gramíneas forrageiras, sendo que a resistência a esse inseto constitui um dos principais objetivos dos programas de melhoramento.

Também doenças causadas por fungos, bactérias, vírus e outros organismos têm sido observadas em várias forrageiras. Contudo, os danos causados por *Bipolaris maydis*, em *P. maximum* e a antracnose em *Stylosanthes* spp., tem sido os que provocam maior impacto econômico. A resistência as essas doenças também constituem importante objetivo do melhoramento.

VII. Fixação biológica de nitrogênio

A fertilização de pastagens com adubos químicos representa um dos principais custos na produção de forragem. Por consequência, a adoção dessa prática tem sido restrita, levando ao esgotamento dos nutrientes do solo, a queda da produção e degradação das pastagens. O uso de cultivares com capacidade de fixação biológica de nitrogênio - FBN, além de promover o aumento de produtividade, reduz o custo da fertilização, bem como contribui para evitar a contaminação ambiental causada pelos fertilizantes químicos. Entre as forrageiras, as leguminosas são reconhecidas pela elevada capacidade de fixação de nitrogênio por meio da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium.* Para gramíneas, também existe a possibilidade de selecionar genótipos com boa capacidade de fixação de nitrogênio por meio de associações com bactérias dos gêneros *Azospirilum, Diazotrophicus* e *Herbaspirillum*.

Considerando que a eficiência da fixação de nitrogênio depende de combinações específicas entre planta e microorganismos, o melhoramento de

forrageiras pode atuar na seleção das combinações mais eficientes para FBN, entre genótipos da forrageira e estirpes dos microorganismos.

VIII. Produção de sementes

Para as forrageiras multiplicadas por meio de sementes, o potencial de produção e a viabilidade são fatores de grande importância no custo de implantação das pastagens e na comercialização das cultivares melhoradas. Diversas características da planta apresentam relação com a produção de sementes, com destaque para o número de perfilhos férteis, tamanho da inflorescência, número de sementes viáveis, sincronismo do florescimento, resistência a deiscência, capacidade de germinação, vigor e tamanho da semente. Dessa forma, essas características devem ser consideradas no processo de seleção visando o desenvolvimento de cultivares melhoradas.

IX. Persistência

A persistência refere-se à capacidade da forrageira de manter-se produtiva ao longo do tempo face às pressões do pastejo, pisoteio, pastejo seletivo, competição interespecífica e períodos de condições ambientais desfavoráveis. A mensuração desta característica é difícil de ser realizada, quer seja pela complexidade dos fatores envolvidos na sua expressão ou pelo tempo necessário para sua correta avaliação. Contudo, este caráter é fundamental no processo de melhoramento para forrageiras perenes, visto que cultivares com baixa persistência tendem a desaparecer rapidamente levando a necessidade de reforma ou recuperação da pastagem, o que apresenta custo elevado.

De forma geral, estes são os principais atributos que os melhoristas devem ter em mente para o desenvolvimento de novas cultivares, entretanto para cada espécie forrageira, podem ser acrescentados objetivos específicos. Na Tabela 1 estão listados os objetivos específicos referentes ao melhoramento das principais forrageiras tropicais.

O Futuro do Melhoramento de Forrageiras Tropicais

Embora o exercício de prever o futuro possa parecer pouco consistente, é possível antever a evolução ou direcionamento dos programas de melhoramento das forrageiras tropicais, tendo por base a solução dos problemas já identificados,

as ameaças decorrentes das mudanças climáticas e o progresso desejado para cada espécie.

A história do melhoramento de forrageiras no Brasil é repleta de sucessos, tendo sido incorporadas ao sistema produtivo cultivares com elevado potencial de produção, boa adaptação à diferentes condições edafoclimáticas e resistentes as principais pragas e doenças. Doravante, o melhoramento de forrageiras tropicais deverá dar maior ênfase à melhoria do valor nutritivo e da qualidade da forragem, sem deixar de lado a produtividade de matéria seca e a tolerância a fatores bióticos e abióticos.

O melhoramento preventivo de forrageiras, como antecipação dos efeitos das mudanças climáticas, deverá buscar o desenvolvimento de cultivares tolerantes aos estresses provocados fatores como a seca, alagamentos, temperaturas altas e baixas, e desta forma poder manter a produtividade e sustentabilidade das pastagens.

Também o melhoramento de espécies forrageiras não tradicionais constitui um importante objetivo, visando promover a diversificação e a redução da vulnerabilidade genética das pastagens decorrentes do uso, em grandes áreas, de clones apomíticos e de propagação vegetativa.

As perspectivas de desenvolvimento de cultivares forrageiras mais produtivas e detentoras de características especiais são bastante positivas, sobretudo com a aplicação de ferramentas genômicas, as quais promoverão ganhos em precisão e redução do tempo de obtenção de novos genótipos. Certamente, o melhoramento genético de forrageiras deverá continuar a ser relevante e promover significativos avanços no aumento da produtividade da pecuária brasileira.

Considerações Finais

Os esforços realizados no melhoramento de forrageiras, nas últimas décadas, possibilitaram o desenvolvimento de cultivares altamente produtivas e resistentes a pragas. As cultivares melhoradas, principalmente de *Brachiaria*, *Panicum* e *Pennisetum*, desempenharam importante papel no avanço da pecuária nacional, com impactos positivos sobre o aumento da produção, produtividade e redução de custos na alimentação dos rebanhos.

Entretanto, o cultivo de poucos genótipos nas pastagens brasileiras, também foi responsável pela redução da variabilidade genética e, por consequência, pelo aumento do risco associado à segurança alimentar dos rebanhos. Esta situação reforça a importância de diversificar os esforços de melhoramento por meio da inclusão

de outras espécies nos programas de pesquisa e desenvolvimento. Ao incorporar espécies que apresentam boa tolerância aos estresses ambientais existentes e aqueles previstos pelas mudanças climáticas, será possível mitigar riscos futuros e fortalecer a resiliência das pastagens.

Outro ponto que merece atenção é a vasta gama de espécies nativas encontradas nos diversos biomas, muitas das quais possuem potencial forrageiro, porém, ainda pouco explorado. Incluir essas espécies nos programas de melhoramento representa uma oportunidade de contribuir para a sustentabilidade da pecuária nacional.

Por fim, o melhoramento de forrageiras é um pilar vital para o desenvolvimento sustentável da agropecuária brasileira. Através do fortalecimento dos programas de melhoramento, diversificação de forrageiras com inclusão de espécies nativas e introduzidas e foco na adaptação edafoclimática, podemos assegurar um futuro mais resiliente e produtivo para a pecuária, beneficiando agricultores e a sociedade como um todo.

Referências

Allard, R.W. Principles of plant breeding. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1999. 254p.

Acquaah, G. Principles of plant genetics and breeding. 2.ed. Wiley-Blackwell, 2012. 740 p.

Assis, G.M.L.; Valentim, J.F.; Carneiro Junior, J.M.; Azevedo, J.M.A.; Ferreira, A.S. Seleção de genótipos de amendoim forrageiro para cobertura do solo e produção de biomassa aérea no período de estabelecimento utilizando metodologia de modelos mistos. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 37, p. 1905-1911, 2008.

Barcellos, A.O.; Ramos, A.K.B.; Braga, G.J.; Vilela, L.; Karia, C.T.; Carvalho, M.A. Leucena (*Leucaena leucocephala*). In: Fonseca, D.M.; Martuscello, J.A. (Org.). Plantas forrageiras. 2ed. Viçosa: Editora UFV, 2022, v. 1, p. 332 - 363.

Barrios, S.C.L.; Valle, C.B.; Alves, G.F.A.; Resende, R.M.S. Jank, L. Reciprocal recurrent selection in the breeding of Brachiaria decumbens Tropical Grasslands - Forrajes Tropicales, v. 1, p. 52-54. 2013.

Benites, F.R.G.; Souza Sobrinho, F.; Vilela, D. A contribuição do gênero *Cynodon* para pecuária de leite. In: Vilela, D.; Ferreira, R.P.; Fernandes, E.N.; Juntolli, F.V. (Org.). Pecuária de Leite no Brasil - Cenários e avanços tecnológicos. 1ed. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2016, v. 1, p. 147-166.

Bhat, T.K.; Kannan, A.; Singh, B.; Sharma, O.P. Value addition of feed and fodder by alleviating the antinutritional effects of tannins. Agricultural Research, v. 2, p. 189–206. 2013.

Batista, L.A.R.; Godoy, R. Caracterização preliminar e seleção de germoplasma do gênero *Paspalum* para produção de forragem. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 29, p. 23-32. 2000.

Batista L.A.R.; Godoy R. Baetí - Embrapa 23, uma nova cultivar do capim andropogon (*Andropogon gayanus* Kunth.). Revista Brasileira de Zootecnia, v.24, p. 204-213. 1995.

Borém, A.; Miranda, G.V.; Fritsche-neto, R. Melhoramento de plantas – 8ª edição. Ed. UFV. 2021, 384 p.

Burton, G.W. Registration of 'Tifton 9' Pensacola bahiagrass. Crop Science, v. 29, p. 1326. 1989.

Chase, A. Grasses of Brazil and Venezuela. Agriculture in the Americas. v.4, p. 123-126. 1944.

Diz, D.A.; Schank, S.C. Breeding hexaploid pennisetums for improved seed production. In: International Grassland Congress, 17, Proceedings. Palmerston North, New Zealand. 1993. p. 1663-1664.

Filgueiras, T.S. Gramíneas africanas: introdução no Brasil. Cadernos de Geociências v. 5, p. 57-63.1990.

Hussey, M.A.; Bashaw, E.C. Performance of buffelgrass germplasm with improved winter survival. Agronomy Journal, v. 88, n.6, p. 944-946. 1996.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Censo Agropecuário 2017 Disponível em: https://censoagro2017.ibge.gov.br/. Acesso em: 23 de março de 2023.

Jank, L.; Martuscello, J.A.; Euclides, V.P.B.; Valle, C.B.; Resende, R.M.S. *Panicum maximum.* In: Fonseca, D. M.; Martuscello, J. A. (Ed.). Plantas forrageiras. 1. ed. Viçosa: UFV, 2010. p. 166-196.

Jank, L.; Valle, C.B.; Resende, R.M.S. Breeding tropical forages. Crop Breeding and Applied Biotechnology, Special edition v.1, p. 27-34, 2011.

Jank, L.; Valle, C.B.; Resende, R.M.S. Grass and forage plant improvement in the tropics and sub-tropics. In: Gilloway, D. A. (ed). (Org.). Grassland: a global resource. The Netherlans: Wageningen Academic Publishers, 2005, p. 69-81.

Jank, L.; Resende, R.M.S.; Valle, C.B.; Resende, M. D. V.; Chiari, L.; Cançado, L.J.; Simioni, C. Melhoramento genético de Panicum maximum Jacq. In: Resende, R.M.S.; Valle, C.B. do; Jank, L. (Org.). Melhoramento de forrageiras tropicais. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2008, p. 55-87.

Jerba, V.F.; Medeiros, S. R.; Fernandes, C.D. Forrageiras: principais fatores de antiqualidade. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2004. 38 p. (Documentos I, Embrapa Gado de Corte, 150).

Karia, C.T.; Andrade, R.P. Cultivo do capim Pojuca. Brasília-DF: Embrapa Cerrados, 2001 (Recomendação Técnica, 50) 2 p.

Karia, C.T.; Andrade, R.P.; Fernandes, C.D.; Schunk, R.M.; Carvalho, M.A.; Braga, G.J. Gênero *Stylosanthes*. In: Fonseca, D.M.; Martuscello, J.A. (Org.). Plantas forrageiras. 2ed. Viçosa: Editora UFV, 2022, v. 1, p. 387 - 417.

Launchbaugh, K. (Ed.) Anti-quality factors in rangeland and pastureland forages. University of Idaho, Station Bulletin, 73, 2001, 69 p.

Lima, J.L.S. Plantas forrageiras da caatinga: usos e potencialidades. Petrolina, PE: Embrapa CPATSA/PNE/RBG-KEW, 1996. 44p.

Lira, M.A.; Cunha, M.V.; Pereira, A.V. Melhoramento genético do capim-elefante. In: Lira, M.A.; Santos, M.V.F.; Dubeux Junior, J.C.B.; Mello, A.C.L. (Eds.). Capim-elefante: fundamentos e perspectivas. Recife: IPA; UFRPE, 2010. p.31-48

Miles J.W.; Valle C.B. Germoplasma y mejoramiento genético de plantas forrajeras tropicales. In: Simpósio Internacional de Forragicultura, 1994; Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 31, Maringá.1994, Anais, Maringá: SBZ,1994, p. 119-139.

Miles, J.W.; Valle, C.B.; Rao, I.M.; Euclides, V.P.B. Brachiaria grasses. In: Warm-Season (C4) grasses, agronomy monograph (Moser LE, Burson BL and Sollenberger LE, eds.). ASA, CSSA, SSSA, Madison, 745-760. 2004.

Nass, L.L.; Valois, A.C.C.; Melo, I.S. de; Valadares-Inglis, M.C. Eds. Recursos genéticos e melhoramento: Plantas. Rondonópolis, Fundação Mato Grosso, 2001. 1183p.

Oliveira, J.C.; Dutra, G.M.; Moraes, C.O.C. Alternativas forrageiras para sistemas de produção pecuária. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2001. 33 p. (Embrapa Pecuária Sul. Documentos, 29)

Pereira, A.V.; Lira, M.A.; Machado, J.C.; Gomide, C.A.M.; Martins, C.E.; Lédo, F.J.S.; Daher, R.F. Elephantgrass, a tropical grass for cutting and grazing. Revista Brasileira de Ciencias Agrarias, v. 16, p. 1-13, 2021.

Pereira, A.V.; Valle, C.B.; Ferreira, R.P.; Miles, J.W. Melhoramento de forrageiras tropicais. In: Nass, L.L.; Valois, A.C.C.; Melo, I.S.; Valadares-Inglis, M.C. Recursos genéticos e melhoramento de plantas. Rondonópolis, MT: Fundação Mato Grosso, 2001. p. 549 – 602.

Pereira A.V.; Lédo F.J.S. Melhoramento genético de Pennisetum purpureum. In: Resende R.M. S; Valle C.B.; Jank. L. (Ed.). Melhoramento de forrageiras tropicais. Campo Grande: Embrapa, 2010, p. 89-116.

Pereira, A.V.; Auad, A.M.; Santos, A.M.B.; Mittelmann, A.; Gomide, C.A. de M.; Martins, C. E.; Paciullo, D.S.C.; Lédo, F.J.S.; Oliveira, J.S. BRS Capiaçu E BRS KurumI: cultivo e uso. Brasília, DF:Embrapa, 116 p., 2021.

Ramos, A.K.B; Barcellos, A.O.; Fernandes, F.D.; Carvalho, M.A.; Assis, G.M.L. Amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* spp.). In: Fonseca, D.M.; Martuscello, J.A. (Org.). Plantas forrageiras. 2ed. Viçosa: Editora UFV, 2022, v. 1, p. 257-301.

Reis, M.C.; Souza Sobrinho, F.; Ramalho, M.A.P. Allohexaploid pearl millet x elephantgrass population potential for a recurrent selection program. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.43, n.2, p.195-199, 2008.

Santos, M.V.F.: Lira, M.A.; Junior, J.C.B.D.; Guim, A.; Mello, A.C.L.; Cunha, M.V. 2010. Potential of Caatinga forage plants in ruminant feeding. Revista Brasileira de Zootecnia. 39: 204-215.

Santos, D.C.; Lira, M.A.; Farias, I.; Santos, M.V.F. Melhoramento genético da palma forrageira. In: Rômulo S.C. Menezes, R.S.C.; Simões, D.A.; Sampaio, E.V.S.C. (Org.). A palma no Nordeste do Brasil. 1ª ed. Recife: Editora Universitária - UFPE, 2005, p. 27-42.

Schrauf, G.E.; Blanco, M.A.; Cornaglia, P.S.; Deregibus, V.; Madia, M.; Pacheco, M,G,; Padilla, J.; Garcia, A.; Quarin, C. Ergot resistence in plants of Paspalum dilatatum incorporated by hibridisation with Paspalum urvillei. Tropical Grasslands, v.37, p.182-186, 2003.

Silva, D.S.; Santos, M.V.F.; Andrade, A.P.; Teixeira. V.I. Forrageiras do Nordeste. In: Fonseca, D.M.; Martuscello, J.A. (Org.). Plantas Forrageiras. 2ed. Viçosa: Editora UFV, 2022, v. 1, p. 551–591.

Simeão, R.M.; Resende, M.D.V.; Laura, V.A.; Jank, L.; Valle, C.B. Genotypic evaluation of accessions and individual selection in *Stylosanthes* spp. by simulated BLUP method. Crop Breeding and Applied Biotechnology, v. 6, p. 253-260, 2006.

Simeão, R.M.; Jank, L.; Valle, C.B.; Bonato, A.V. Biometrical analysis and selection of tetraploid progenies of Panicum maximum using mixed models methods. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 39, n.4, p. 335-341, 2004.

Souza Sobrinho, F.; Auad, A.M.; Lédo, F.J.S. Genetic variability in Brachiaria ruziziensis for resistance to spittlebugs· Crop Breeding and Applied Biotechnology. v. 10, p. 83–88. 2010.

Teixeira, J.C.; Espanhol, A.N. A trajetória da pecuária bovina brasileira. Caderno Prudentino de Geografia, n.36, v.1, p.26-38. 2014.

Valle, C.B.; Euclides, V.P.B.; Macedo, M.C.M. Características das plantas forrageiras do gênero *Brachiaria*. In: Peixoto, A.M.; Pedreira, C.G.S.; Moura. J.C.; Faria, V.P. (Org.). A planta forrageira no sistema de produção. 2ª ed. Piracicaba: FEALQ, 2001, p. 133-176.

Valle, C.B.; Jank, L.; Resende, R.M.S. O melhoramento de forrageiras tropicais no Brasil. Revista Ceres, v.56, n.4, p.460-472, 2009.

04

Morfogênese de plantas forrageiras tropicais

Pedro Henrique Ferreira da Silva[1]
Mércia Virginia Ferreira dos Santos[2]
Maria Nagila Ferreira da Costa[4]
Márcio Vieira da Cunha[3]
Valdson José da Silva[3]

Introdução

A produção animal em pastagens é o resultado da interação entre os processos de produção de forragem, consumo pelos animais e conversão em proteína animal ou outros produtos (e.g., lã ou couro). A ecofisiologia de plantas forrageiras é o estudo das respostas fisiológicas ao ambiente, envolvendo o conhecimento de mecanismos de competição entre plantas individuais dentro da comunidade e as consequências dessa competição sobre a dinâmica estrutural (Da Silva et al., 2015). O conhecimento de mecanismos como plasticidade fenotípica em relação à desfolhação (corte ou pastejo) e o impacto sobre a morfologia e estrutura do dossel são fundamentais para entender a dinâmica de vegetação em pastagens, capineiras ou bancos forrageiros (Gastal & Lemaire, 2015).

[1] Núcleo de Produção Animal, Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, Paraíba.
[2] Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco. Bolsista do CNPq.
[3] Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco.
[4] Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco. Bolsista FACEPE.

Pastagens, capineiras ou bancos forrageiros são instalações com comunidades de plantas em interação com o meio, e em alguns casos, com o animal. Considerando as interações dinâmicas que ocorrem nessas instalações, a massa de forragem produzida é afetada pelos fatores ecológicos, pela dinâmica de aparecimento de tecidos de cada espécie e pelas características estruturais do dossel (Gomide & Gomide, 2013). A morfogênese é a área do conhecimento que estuda as mudanças da forma física da planta, ou seja, a dinâmica de geração e aparecimento das partes aéreas da planta no espaço e no tempo, sendo quantificado a partir da avaliação do fluxo de tecidos. O acúmulo de tecidos vegetais ocorre pelo aparecimento e alongamento de folhas, além do alongamento de colmos ou caules. Por outro lado, a remoção desses tecidos se dá basicamente pelos processos de senescência e pastejo (Lemaire et al., 2009).

A maioria das características morfogênicas são expressas em taxas, como por exemplo as taxas de aparecimento de folhas (TApF), alongamento foliar (TAlF) e colmos (TAlC) (Gomide & Gomide, 2013; Carvalho et al., 2022). A morfogênese é uma ferramenta importante para o entendimento do manejo do pastejo ou colheita manual/mecânica da forragem, já que os eventos de desfolhação afetam diretamente características morfogênicas das plantas e estruturais do dossel (Pereira et al., 2017). O entendimento das características morfogênicas pode auxiliar nas estratégias e tomadas de decisão que melhorem a qualidade da forragem colhida, com máximo acúmulo líquido de forragem no momento do corte ou pastejo, ou seja, com maior proporção de folhas vivas e menor de material senescente, além de colmos e caules menos lignificados (Paciullo et al., 2017; Carvalho et al., 2022).

Desta forma, o objetivo do presente capítulo é apresentar informações sobre morfogênese de plantas forrageiras tropicais, bem como seus efeitos sobre aspectos morfofisiológicos e características estruturais dos dosséis.

Morfogênese, características estruturais e morfofisiológicas de gramíneas forrageiras

Chapman e Lemaire (1993) propuseram um modelo de morfogênese de gramíneas em função de fatores ecológicos importantes para o crescimento e senescência, especificamente para gramíneas de clima temperado. Três características morfogênicas direcionam o acúmulo de tecidos vegetais em pastagens, segundo os autores: (i) taxa de aparecimento de folhas (TApF), definida pelo número de folhas surgidas por perfilho por unidade de tempo, cuja a unidade básica de medida é folhas/perfilho/dia; (ii) taxa de alongamento de folhas (TAlF), definida pelo aumento

no comprimento da folha por perfilho e por unidade de tempo, geralmente medida em cm/perfilho/dia; e (iii) tempo de vida da folha (TVF) que é literalmente a duração de vida da folha, geralmente medido em dias (Gomide & Gomide, 2013).

Essas três características são determinadas geneticamente, mas também são afetadas por fatores ecológicos (e.g., déficit hídrico, temperatura e luz). Sob a perspectiva genética, gramíneas que possuem elevada TApF geralmente têm folhas mais curtas e alta densidade populacional de perfilhos (DPP), além de dosséis com maior densidade de forragem (DF). Já gramíneas com baixa TApF apresentam folhas mais longas, menor DPP e DF (Lemaire et al., 2009; Gomide et al., 2018). A comparação entre variedades de porte alto e variedades anãs de Capim-elefante (*Cenchrus purpureus* Schum. Syn. *Pennisetum purpurem* Schum.) pode ser um bom exemplo para evidenciar o caráter genético dos aspectos morfogênicos em gramíneas forrageiras tropicais (Silva et al., 2021). Silva et al. (2023) compararam a DF em dosséis formados por variedades de porte alto e anãs de Capim-elefante, de março de 2019 a dezembro de 2020, com frequência de colheita de 60 dias e intensidade a nível do solo, na Zona da Mata Seca de Pernambuco. Os autores observaram DF média de 59 kg ha^{-1} cm^{-1} para o dossel do capim anão Mott, enquanto para o capim de porte alto IRI-381 foi de 37 kg ha^{-1} cm^{-1}, apesar das mesmas condições de cultivo e manejo, e ambientais.

O filocrono é outra característica morfogênica importante no manejo de desfolha. Na prática, trata-se do inverso da TApF, ou seja, o intervalo de tempo entre o aparecimento de duas folhas sucessivas. A variável é medida em dias, graus-dia ou ainda dias $folha^{-1}$ (Gomide & Gomide, 2013). Outras terminologias mais antigas como plastocrono e alocorno ficaram obsoletas para descrever essa característica. A taxa de senescência também é uma variável importante da morfogênese, estimada em cm $perfilho^{-1}$ dia^{-1}, assim como a TAlF. Visualmente, ela pode ser estimada pelo avanço da porção senescente nas folhas (cor amarelada ou desidratação severa) (Carvalho et al., 2022).

As três principais variáveis morfogênicas determinam três características estruturais dos pastos: (i) a TApF deriva a densidade populacional de perfilhos (DPP); (ii) a TAlF deriva o comprimento final da folha (CFF); (iii) a TFV deriva o número de folhas vivas por perfilho (NFVP). Essas características estruturais modificam de forma sensível o índice de área foliar (IAF) (Lemaire et al., 2009; Paciullo et al., 2017). O IAF é um índice adimensional que representa a área que uma face das lâminas foliares ocupa em relação à área do solo. O IAF reflete diretamente a estrutura do dossel e tem sido muito utilizado como critério de frequência de colheita, principalmente no manejo do pastejo (Véras et al., 2020; Silva et al., 2021).

Entretanto, o modelo de morfogênese proposto por Chapman & Lemaire (1993) contemplou gramíneas C_3 cultivadas em clima temperado. Gramíneas forrageiras tropicais (de metabolismo C_4) têm diferenças morfofisiológicas importantes quando comparadas às gramíneas C_3. Desta forma, Gomide et al. (2003) adaptaram esse modelo, incluindo uma característica morfogênica importante em gramíneas tropicais: a taxa de alongamento de colmos (TAlC), também medida em cm perfilho^{-1} dia^{-1}. O alongamento de colmos ocorre especialmente na fase final do crescimento vegetativo e ainda mais no estágio reprodutivo de gramíneas tropicais (perfilhos reprodutivos nada mais são do que colmos modificados). Da TAlC, deriva-se a relação folha: colmo (RFC), característica estrutural importante que tem alta correlação com o valor nutritivo de plantas forrageiras (Silva et al., 2021; Silva et al., 2023b).

Somado às relações entre características morfogênicas das plantas e características estruturais dos dosséis, a qualidade da radiação luminosa e o fotoperíodo exercem efeitos sobre a TApF, TAlF, TAlC e TVF (Figura 1), bem como DPP (Gomide et al., 2018).

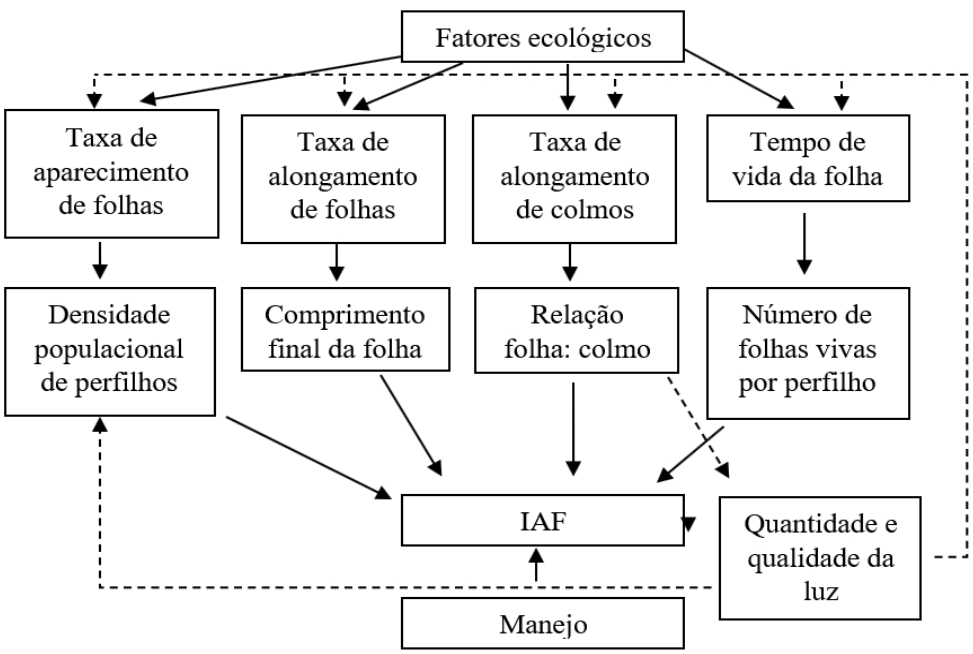

Figura 1. Relações entre as principais características morfogênicas e estruturais do dossel das gramíneas tropicais em função do manejo e fatores ecológicos.

Fonte: Adaptado de Gomide & Gomide (2013).

As características estruturais também são direcionadas por aspectos genéticos, não somente pelas estratégias de manejo ou fatores ecológicos. Silva et al. (2023b) observaram maior RFC em dosséis de variedades anãs Mott (1,59) e Taiwan A-146 2.37 (1,19), comparativamente às variedades de porte alto Elefante B (0,98) e IRI-381 (1,04) (Figura 2) sob mesmas condições de cultivo, manejo e fatores ecológicos, na Zona da Mata de Pernambuco e em colheitas sucessivas a cada 60 dias, de março de 2019 a dezembro de 2020.

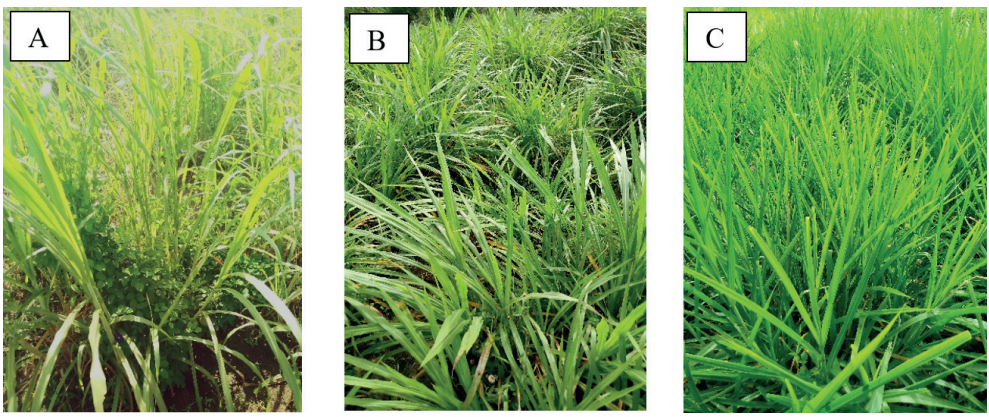

Figura 2. Variedades de capim-elefante [*Cenchrus purpureus* (Schum.) Morrone] com diferentes portes, características morfogênicas das plantas e estruturais do dossel. A) Elefante B (porte alto); B) Mott (anão); C) Taiwan A-146 2.37 (anão).

A morfofisiologia de gramíneas forrageiras poder permitir o entendimento dos processos de desenvolvimento, crescimento e senescência de folhas e perfilhos no dossel. Os aspectos morfofisiológicos também são importantes para compreensão da dinâmica da vegetação e determinar estratégias de desfolhação. Nesta dinâmica, a maior parte da radiação fotossinteticamente ativa (RAF) é interceptada pelas folhas, e uma pequena fração pelos colmos (Da Silva et al., 2015). Assim, duas características morfofisiológicas são importantes e correlacionam-se positivamente em dosséis de gramíneas: a interceptação de luz (IL) e o IAF, já mencionado anteriormente. Entretanto, essa correlação é positiva e linear até certo ponto, já que a relação entre IAF e IL pode ser alterada dependendo da condição dos pastos. Na condição de *IAF ótimo*, a comunidade de plantas intercepta praticamente toda RFA (IL ± 99%) com mínimo auto sombreamento, o que em teoria, significa a máxima taxa de crescimento

da cultura para acúmulo total de forragem. No chamado *IAF teto*, a IL é praticamente máxima e a taxa de aparecimento é igual à taxa de mortalidade de folhas na base do dossel. Por isso, a taxa de respiração das plantas ultrapassa a taxa fotossintética, e a taxa de crescimento da cultura é reduzida (Brown & Blaser, 1968). Por outro lado, quando o dossel está em condições de *IAF crítico*, 95% da RAF é interceptada, determinando um máximo acúmulo líquido de forragem, com menores taxas de senescência, de alongamento dos colmos e maior RFC.

O *IAF crítico* tem sido adotado com bastante sucesso para estabelecer metas no manejo do pastejo no Brasil. Na prática, os 95% de IL alcançados são convertidos em altura média dos pastos para altura de entrada dos animais nos piquetes, no caso de manejo sob lotação rotacionada (Da Silva et al., 2015). Por exemplo, a altura de entrada dos animais em piquetes de Capim-mombaça (*Megathyrsus maximus* Jacq. cv. Mombaça) é 90 cm, de acordo com o manejo de *IAF crítico* em regiões tropicais. Nessa condição, o IAF dos dosséis de capim-mombaça geralmente é 5,0, em média (Gomide et al., 2018).

Entretanto, o uso do *IAF crítico* como estratégia de manejo do processo desfolhação requer atenção. As relações entre IL e IAF podem mudar em função das variações edafoclimáticas. Ramos et al. (2022) avaliaram a IL e IAF em nove gramíneas forrageiras manejadas no Semiárido Brasileiro, no município de Itapetininga-BA. Os autores utilizaram frequências e intensidades de pastejo recomendadas por Fonseca & Martuscello (2022) para *IAF crítico*, nas quais teoricamente as ILs observadas deveriam ter sido de aproximadamente 95%. No entanto, os autores observaram valores consideravelmente menores: (i) 59,6% para o Capim-braquiária cv. Basilisk (*Urochloa decumbens* Stapf.); (ii) 64,3% para o Capim-humidicola cv. Llanero (*Urochloa humidicola* cv. Llanero); (iii) 65,4% para a Braquiária MG-4 (*Urochloa brizantha* cv. MG-4); (iv) 65,7% para o Capim-marandu (*Urochloa brizantha* cv. Marandu); (v) 62,6% para o Capim-Piatã (*Urochloa brizantha* cv. Piatã); (vi) 62,7% para a *Urochloa ruziziensis* cv. Kennedy; (vii) 73,9% para o Capim-massai (*Megathyrsus maximus* × *Megathyrsus infestum* cv. Massai); (viii) 82,1% para o Capim-mombaça (*Megathyrsus maximus* Jacq. cv. Mombaça); e (ix) 78,7% para o Capim-tanzânia (*Megathyrsus maximus* Jacq. cv. Tanzânia).

Anjos et al. (2016) avaliaram a variação de altura correspondente a IL de 95% para o Capim-marandu sob lotação rotacionada ao longo dos meses do ano durante a estação chuvosa, e observaram que a altura correspondente a IL 95% variou de 33 a 42 cm. Pontes et al (2016) avaliaram a altura correspondente a IL95% em diferentes gramíneas forrageiras tropicais na primavera, verão e outono no Paraná. Foi observado variação no valor da altura correspondente ao longo das estações,

sendo geralmente maiores no verão e menores no outono. Segundo os autores, nas condições estudadas o *Megathyrsus maximus* cv. Aruana apresentou na IL 95% uma elevada altura (64 cm), elevada produção de colmos e tendência a tombamento. Antunes et al. (2016), avaliando o Capim-marandu sob lotação intermitente no cerrado brasileiro, reportaram que nos solos pobres e ácidos característicos da região, os pastos atingiram a IL 95% em uma maior altura (33 cm). Neste sentido, fatores ecológicos como temperatura e precipitação podem alterar sensivelmente a relação entre IL e o IAF em gramíneas forrageiras (Silva et al., 2021).

Os ângulos foliares e o arranjo espacial do dossel são características importantes da estrutura dos pastos. O ângulo foliar é o grau de inclinação da folha em relação ao solo, variável que influencia o grau de penetração de luz no dossel. Existe uma relação entre ângulo foliar e luminosidade incidente: em ângulo foliares mais próximos a 90°, a área iluminada do dossel é maior do que em dosséis que o ângulo é mais próximo do horizontal (0°). Teoricamente, em dosséis com arranjo mais vertical (inclinação ótima, ângulo foliar mais próximo a 90°), a relação entre intensidade de luz e assimilação líquida de CO_2 é linear. Já para dosséis com arranjo horizontal (ângulo foliar mais próximo de 0°), há uma relação não-linear, onde um ponto de saturação de luz é alcançado rapidamente. Em arranjos horizontais, principalmente quando as folhas são largas, há uma possibilidade considerável de auto sombreamento (Wilson, 1960).

O coeficiente de extinção de luz (*k*) indica o grau de atenuação ou penetração de RFA do topo à base do dossel. O coeficiente *k* é influenciado pelo hábito de crescimento da espécie, pelo ângulo foliar, pela arquitetura e arranjo do dossel, além do próprio IAF e indiretamente por características morfogênicas como TApF, TAlF e TAlC (Silva et al., 2023). De maneira geral, gramíneas cespitosas apresentam menor *k* que gramíneas estoloníferas ou de hábito de crescimento prostrado. Gramíneas cespitosas são bastante eficientes no uso da RFA incidente por formarem dosséis mais verticais que permitem maior penetração da RFA do topo à base do dossel. Já dosséis forrageiros de leguminosas, por exemplo, são mais horizontais e apresentam maiores valores de *k*. Assim, há maior extinção de luz, ou seja, menor penetração de luz do topo para a base do dossel. A equação proposta por Sheehy & Cooper (1973) é: $k = [\log_e (I/I0)]/IAF$, onde: *k* = coeficiente de extinção de luz, $I = RFA_{incidente}$ na base do dossel, $I0 = RFA_{incidente}$ no topo do dossel e IAF = índice de área foliar. Silva et al. (2023) observaram maior extinção de luz em dosséis do Capim-elefante anão Mott (*k* = 0,48) do que no Capim-elefante anão Taiwan A-146 2.37 (*k* = 0,42), em manejo sob corte. Os autores destacaram o elevado IAF médio observado para a variedade Mott (3,83), em comparação ao Taiwan A-146 2.37 (3,43), bem como um maior NFVP

(13 *vs*. 9). Vale ressaltar que a extinção de luz, analisada de forma isolada, não indica precisamente se determinado dossel forrageiro é eficiente ou não no uso de luz para o acúmulo de forragem.

Os cultivares de Capim-elefante anão Mott e BRS Kurumi, evidenciam a influência de características morfogênicas de gramíneas tropicais sobre características estruturais e aspectos morfofisiológicos. Quando manejados adequadamente e em condições ambientais favoráveis, esses cultivares apresentam elevado IAF devido ao elevado NFVP e da alta RFC (Pereira et al., 2021). Por sua vez, o alto NFVP é proveniente de um menor TVF e de entrenós curtos, enquanto a elevada RFC provém de uma menor TAlC, quando comparado com cultivares de porte alto (Silva et al., 2021).

A dinâmica populacional de perfilhos é outro aspecto morfofisiológico importante em gramíneas forrageiras. A dinâmica populacional de perfilhos é definida como o fluxo de produção e morte de perfilhos (Lima et al., 2019). Perfilhos são as unidades básicas de crescimento dos pastos, que por sua vez são formados por conjuntos de fitômeros. Essas estruturas são constituídas de lâmina foliar, bainha, lígula, entrenó, nó e gema ou meristema axilar. Além disso, são formados a partir da diferenciação do meristema apical, que é o ponto de crescimento primordial das gramíneas (Da Silva et al., 2008). O perfilhamento é, possivelmente, o aspecto mais influenciado pelo manejo do pastejo ou colheita e que reflete claramente a adaptação das plantas às diferentes frequências e intensidades de desfolha.

Essa mudança adaptativa no perfilhamento é chamada de plasticidade fenotípica. Utilizar elevadas frequências ou intensidades de desfolhação, por exemplo, provocará nas plantas um mecanismo de adaptação chamado de plasticidade fenotípica (Gastal & Lemaire, 2015). A relação inversa entre densidade populacional e tamanho individual de perfilhos norteia esse mecanismo em gramíneas e chama-se compensação tamanho-densidade (Sbrissia & Silva, 2008). Na prática, significa dizer que pastos sob altura correta de manejo podem ter maior acúmulo líquido de forragem que pastos manejados excessivamente altos. Isto porque, os pastos com altura correta terão maior TApF, maior DPP e perfilhos menores, porém com maior acúmulo líquido de forragem e menor taxa de senescência foliar. Ao contrário, pastos manejados excessivamente altos apresentam perfilhos maiores, menor DPP e maior taxa de senescência foliar (Da Silva et al., 2015).

Já as reservas orgânicas desempenham papel fundamental na capacidade de rebrotação das plantas forrageiras, contribuindo assim, para a perenidade das pastagens, capineiras e bancos forrageiros. A partição de moléculas orgânicas como amido e sacarose depende basicamente de uma relação de fonte-dreno que ocorre

das raízes ou da coroa da planta em direção às folhas (Taiz et al., 2017). As reservas orgânicas são fundamentais para o manejo de capineiras e bancos forrageiros, já que nesse tipo de sistema de cultivo, o aparato fotossintético (folhas) é praticamente todo removido durante a colheita. Já a área foliar residual (IAF residual) acaba assumindo maior importância para a manutenção da capacidade de rebrotação em manejo de pastagens (Silva et al., 2021).

Tanto as características morfogênicas quanto as estruturais, e a morfofisiologia da planta forrageira, são fortemente influenciados por fatores ecológicos, como mencionado anteriormente. Temperatura, precipitação e decisões de manejo do pastejo, além da adubação, irrigação e tipo de sistema de cultivo, são fatores que podem modificar TApF, TAlF, TAlC e outros tantos aspectos morfogênicos das plantas (Figura 3), e características morfofisiológicas e estruturais dos dosséis.

Carvalho et al. (2022) avaliaram características morfogênicas do Capim-tanganica (*Megathyrsus maximus* Jacq. cv. Tanganica) sob níveis de sombreamento arbóreo da Sombra-de-vaca (*Clitoria fairchildiana* R.A. Howard). Os autores relataram aumento na TAlC em função do aumento do nível de sombreamento, de 0,19 cm perfilho^{-1} dia^{-1} em condição de pleno sol (controle) para 0,31 cm perfilho^{-1} dia^{-1} em condição de sombreamento forte. Em condições de sombreamento, o alongamento dos colmos é uma resposta morfogênica comum em gramíneas tropicais, visando a manutenção da interceptação da RAF e das taxas fotossintéticas, e consequentemente, do acúmulo de forragem (Martins et al., 2021).

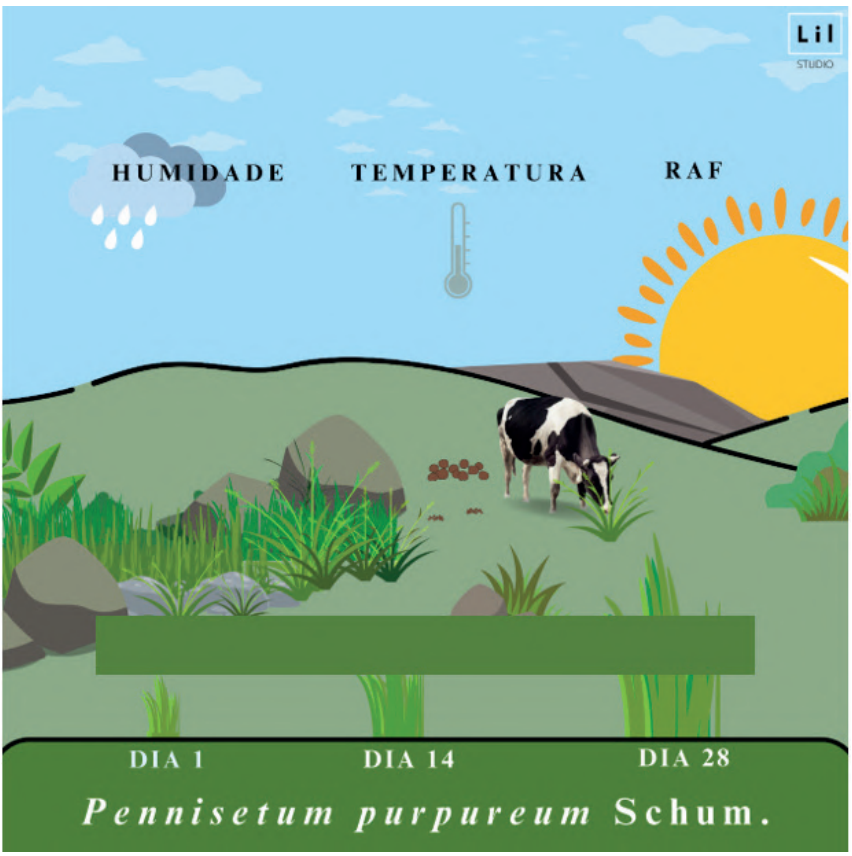

Figura 3. Alturas de uma gramínea forrageira cultivada em pastagem e submetida à frequência de 28 dias e intensidade de 20 cm de altura de resíduo pós-pastejo. RAF = radiação fotossinteticamente ativa.

Morfogênese e características estruturais de leguminosas forrageiras

As características morfogênicas de plantas forrageiras, como mencionado anteriormente, são definidas geneticamente e influenciadas pelas condições ambientais (Oliveira et al., 2019). Tais características são altamente dependentes dos fatores ecológicos (Figura 3), o que não é diferente para leguminosas forrageiras tropicais. Fatores como redução da luminosidade, disponibilidade hídrica, nutrientes,

e manejo são capazes de alterar a composição estrutural da forragem e comprometer a produtividade do sistema (Braz et al., 2017; Lopes et al., 2017).

Estudos sobre morfogênese em leguminosas são mais escassos, comparativamente aqueles de gramíneas, mas suas características morfogenéticas são perceptíveis e mensuráveis quando leguminosas são manejadas sob corte ou pastejo (Pereira et al., 2017; Cruz et al., 2020). Silva et al. (2017) avaliaram taxas de crescimento da *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. sob diferentes alturas de resíduo pós-colheita (70, 90 e 110 cm), e em diferentes estações do ano, em Fortaleza-CE. Os autores encontraram diferença nas taxas de crescimento, em relação às estações do ano, com maior taxa de crescimento na estação chuvosa (0,51 cm dia^{-1} no verão e 0,90 cm dia^{-1} no outono), e menor na estação seca do ano (0,42 cm dia^{-1} no inverno e 0,29 cm dia^{-1} na primavera).

A luminosidade exerce forte controle nas características morfogênicas, alterando os padrões de crescimento e produção de forragem (Zanine et al., 2012), influenciando principalmente a produção de folhas. Em virtude, com o aumento do índice de área foliar (IAF), eleva-se a interceptação da RAF da planta (Martins et al., 2021). Cruz et al. (2020) avaliaram os aspectos morfogênicos do amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* Krap. & Greg.) com frequência de colheita sob *IAF crítico* (95% de IL), em Diamantina-MG, submetido a diferentes níveis de sombreamento artificial (0, 30, 45 e 75%). Os autores não encontraram diferença entre as características morfogênicas avaliadas (Tabela 1), mas observaram redução linear no número de estolões, de 2,53 em pleno sol, para 1,03 com 75% de sombra.

Paciullo et al. (2011) descreveram que para melhorar a IL em ambientes com pouca luminosidade, ocorre a aceleração do crescimento foliar que resulta em maior expansão das folhas. Além disso, ocorre maior alongamento das estruturas de sustentação, como os estolões do Amendoim forrageiro, adequando o arranjo espacial das folhas para que a planta possa interceptar e utilizar a luz disponível de forma mais eficiente (Lin et al., 2001).

A disponibilidade de água é outro fator importante na dinâmica de vegetação, uma vez que atua diretamente na atividade metabólica, na fotossíntese, no turgor e no processo de divisão celular. Por consequência, a água afeta as taxas morfogênicas de plantas forrageiras, mas sobretudo de leguminosas que são menos eficientes no uso de água, quando comparadas às gramíneas tropicais e cactáceas (Duarte et al., 2019).

Costa (2020) avaliou características morfogênicas da Jureminha [*D. pernambucanus* (L.) Thellung] (Figura 4 e Tabela 2) sob condições ambientais da Zona da Mata Seca de Pernambuco, em intervalos de corte de 84 dias. Observou-se que as colheitas realizadas na época seca reduziram TApF, TAlF e taxa de expansão

de folhas (0,017 folha dia^{1}; 0,0031 e -0,008 cm dia^{1}, respectivamente), quando comparadas às colheitas realizadas na estação chuvosa (0,19 folha dia^{1}; 0,04 e 0,02 cm dia^{1}, respectivamente).

Tabela 1. Características morfogênicas do amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* Krap. & Greg.) sob intensidades de sombra artificial em Diamantina- MG

Variáveis	Sombreamento (%)				EPM[1]	*p*-value[2]	
	0	30	45	75		Linear	Quadrática
Taxa de aparecimento de folhas (folha dia^{-1})	0,05	0,06	0,06	0,07	0,02	Ns	Ns
Taxa de alongamento da folha (cm^2 dia^{-1})	0,03	0,04	0,04	0,05	0,02	Ns	Ns
Taxa de alongamento do pecíolo (cm^2 dia^{-1})	0,07	0,08	0,11	0,10	0,04	Ns	Ns
Taxa de alongamento do estolão (cm^2 dia^{-1})	0,05	0,05	0,05	0,19	0,15	Ns	Ns

[1]Erro padrão da média. [2] Efeitos lineares e quadráticos devido ao nível de sombreamento: ***, **, *Significativo a 0,1, 1 e 5% de probabilidade, respectivamente; e não significativa.

Fonte: Adaptado de Cruz et al. (2020).

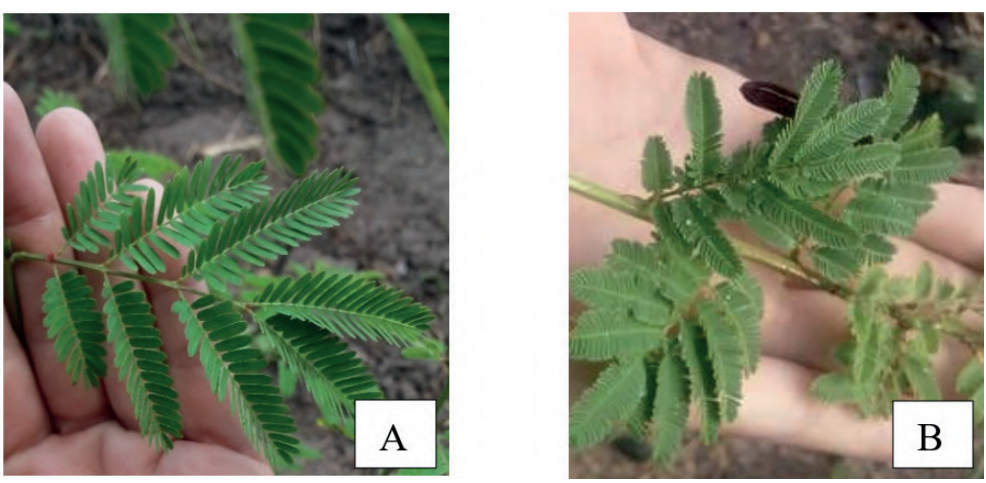

Figura 4. Folhas de *Desmanthus pernambucanus* (L.) Thellung, (A) época chuvosa (B) época seca, Carpina-PE.

Tabela 2. Características morfogênicas de *Desmanthus pernambucanus* (L.) Thellung, conforme colheitas realizadas e épocas do ano

Colheitas (Época do ano)	Taxa de aparecimento foliar (folha dia^{-1})	Taxa de alongamento foliar (cm^2 dia^{-1})	Taxa de expansão foliar (cm^2 dia^{-1})
Jul/18 (chuva)	0,19 a	0,004c	0,011bc
Out/18 (seca)	0,017c	0,0033c	-0,008c
Dez/18 (seca)	0,03c	0,0065c	0,025a
Mar/19 (seca)	0,036bc	0,015b	0,005c
Jun/19 (chuva)	0,14 a	0,041a	0,015ab
Ago/19 (chuva)	0,079 b	0,035 a	0,02ab
Nov/19 (seca)	0,019c	0,016b	0,005c
EPM	0,011	0,003	0,003

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Costa (2020).

Silva (2021) avaliou características morfogênicas de diferentes leguminosas forrageiras submetidas a duas frequências de colheitas (60 e 90 dias), na Zona da Mata Seca de Pernambuco. Entre as leguminosas, a jureminha apresentou maior taxa de crescimento (0,48 cm dia^{-1}), seguido pela cunhã (*Clitoria ternatea* L.) (0,28 cm dia^{-1}) e Estilosantes cv. Campo Grande (*Stylosanthes capitata* Vog. × *Stylosanthes macrocephala M. B.* Ferr. & N. S. Costa) (0,18 cm dia^{-1}). Dentre as frequências de colheita, o estilosantes cv. Campo Grande apresentou maior TApF aos 90 dias. Para filocrono e TAlF, maiores taxas foram observadas na Cunhã.

A frequência e intensidade de colheita pode alterar a dinâmica de crescimento das plantas e acúmulo de forragem através da remoção de órgãos (folha, colmos ou caules), que reduzem a capacidade fotossintética da planta. Com esse entendimento, a elaboração de metas de colheita que favoreçam a produção e qualidade da forragem podem ser traçadas com auxílio de respostas morfogênicas, inclusive em leguminosas forrageiras. Isto torna-se possível por meio do reconhecimento de padrões de acúmulos dos componentes morfológicos das plantas em função do nível de interceptação de luz (Cruz et al., 2021).

No caso das leguminosas, especialmente as tropicais, há uma variedade de hábitos de crescimento e aspectos morfológicos (Castro-Montoya & Dickhoefer, 2020) que também afetam características morfogênicas mesmo sob intensidades e frequências de desfolhação (Tabela 3).

Tabela 3. Taxa de aparecimento de folhas (TApF) em leguminosas forrageiras manejadas sob diferentes intensidades (I) e frequências (F) de colheita

Espécie	I (cm)	F	TApF (folhas dia^{-1})	Fonte
D. pernambucanus (L.) Thellung.	20	84 dias	0,19	Costa (2020)
A. pintoi Krap. & Greg.	11	95% IL	0,05	Cruz et al. (2020)
D. pernambucanus (L.) Thellung.	20	90 dias	0,16	Silva (2021)
C. ternatea L.	20	90 dias	0,12	Silva (2021)
Stylosanthes spp. cv. Campo Grande	20	90 dias	0,58	Silva (2021)
T. repens L.	8	420 GD	0,017	Rodrigues (2010)

GD: grau dia; IL: intercepção de luz.

Morfogênese e características estruturais em cactáceas forrageiras

Cactáceas são plantas fisiologicamente adaptadas e com elevada eficiência fotossintética e de uso de água, principalmente pelo fato de que as trocas gasosas e absorção de CO_2 serem noturnas (Dubeux Jr. et al., 2021). Dessa forma, o crescimento de cactáceas como a palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) é fortemente influenciado pela temperatura noturna (Inglese et al., 2017) (Tabela 4). A palma forrageira apresenta adaptações morfológicas para sobrevivência a ambientes semiáridos, entre eles folhas modificadas para espinhos. Nesse contexto, a fotossíntese é realizada por estruturas chamadas de cladódios, que podem ser considerados caules modificados (Jacobo & Chessa, 2017).

Tabela 4. Efeitos das temperaturas diurnas e noturnas sobre o crescimento relativo da Palma Forrageira (*Opuntia* spp.)

Temperatura (°C)		Crescimento relativo (%)
Diurna	Noturna	
15	5	40
20	10	80
25	15	100
30	20	80
35	25	40
40	30	18
45	35	0

Fonte: Adaptado de Mondragón-Jacobo & Pérez-González (2001).

A morfogênese de cactáceas forrageiras tem como alvo o fluxo de tecidos do cladódio, que é o aparato fotossintético dessas plantas. Medidas como número de cladódios por planta, comprimento dos cladódios primários e secundários, espessura e perímetro dos cladódios são comumente avaliadas (Barbosa et al., 2018). As taxas de alongamento da planta e dos cladódios podem ser calculadas por dia ou por mês (cm $mês^{-1}$) devido ao crescimento mais lento dessas plantas, quando comparadas às leguminosas e principalmente, às gramíneas tropicais (Pereira et al., 2015).

Cunha et al. (2012) avaliaram características morfogênicas da Palma miúda em função da aplicação de doses de nitrogênio (0, 100, 200 e 300kg N ha^{-1}). Os autores avaliaram a taxa de alongamento de cladódio, taxa alargamento de cladódio, taxa de espessamento de cladódio, taxa de expansão de área, taxa de expansão de volume e taxa de aparecimento de cladódios, e não observaram diferenças nas características morfogênicas e na produtividade média da palma miúda em função da aplicação de doses de N nas condições estudadas. De acordo com os autores, a avaliação de características morfogênicas pode ser uma alternativa a realização de medidas destrutivas, cujos dados somente podem ser no momento da colheita.

Em avaliação de características morfogênicas das variedades de Palma forrageira IPA Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana em Serra Talhada entre o 8º e o 24º mês, Nunes et al. (2019) reportaram diferenças entre as características morfogênicas avaliadas, com a IPA-Sertânia apresentando menor taxa de aparecimento de cladódios (0,468 vs. 0,995 cm $mês^{-1}$), em comparação com variedade Miúda. Além disso, a IPA-Sertânia apresentou menor expansão da área de cladódios (0,857 vs. 1.17 m^2 m^2 $mês^{-1}$), em comparação a Orelha de Elefante Mexicana. Tais diferenças morfogênicas refletem em diferenças estruturais entre as variedades, que por sua vez podem ser influenciadas pelo nível de adaptação das plantas ao ambiente.

Aspectos morfofisiológicos como a área de cladódios (AC) e o índice de área de cladódios (IAC) são fundamentais na avaliação dessas plantas, assim como o IAF é importante para gramíneas e leguminosas. Comparativamente ao IAF de gramíneas e leguminosas, o IAC em cactáceas é baixo devido aos ângulos e distribuição dos cladódios, somado a uma reduzida IL. No entanto, o IAC e outras tantas características morfológicas variam em função da variedade de Palma Forrageira (Tabela 5), mas principalmente pela diferença dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea* (Pereira et al., 2015).

Pereira et al. (2015) avaliaram as taxas de crescimento de clones de Palma Forrageira (IPA-Sertânia, Orelha de Elefante Mexicana e Miúda) submetidos a diferentes condições de disponibilidade de água no Semiárido Brasileiro. Os autores observaram aumento de 70 e 60% nas taxas de crescimento da IPA-Sertânia e da

Orelha de Elefante Mexicana, respectivamente, nos últimos meses de avaliação, devido à ocorrência de precipitação pluviométrica.

Tabela 5. Características morfológicas de variedades de palma forrageira cultivadas no Semiárido Brasileiro

Variedade	NC	LC (cm)	CC (cm)	EpE (mm)	Fonte
Miúda	67	23,8	20,6	28,8	Ferraz (2018)
Miúda	28	9,7	19,0	21,5	Silva (2019)
Gigante	10	16,9	----	27,3	Fonseca et al. (2023)
Gigante	3	12,2	27,2	21,0	Cirino Junior et al. (2022)
OEM	22	27,1	27,2	28,9	Ferraz (2018)
OEM	18	26,5	30,5	26,5	Silva (2019)
IPA-Sertânia	11	15,5	31,0	22,1	Dantas et al (2023)
IPA-Sertânia	39,33	34,21	40,91	31,06	Ferraz (2018)

Miúda [*Napolea cochenillifera* (L.) Salm-Dick]. Gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill). OEM (Orelha de Elefante Mexicana – *Opuntia stricta* Haw.). IPA-Sertânia [*Napolea cochenillifera* (L.) Salm-Dick]. NC: número de cladódios. LC = largura do cladódio. CC = comprimento do cladódio. EpE = espessura do cladódio.

Os aspectos de manejo e demais fatores ecológicos também são alvo de investigação e afetam respostas morfofisiológicas de cactáceas como a Palma Forrageira (Ferreira et al., 2023). Dantas et al (2023) avaliaram o efeito de níveis crescentes de salinidade da água de irrigação, sob gotejamento superficial, sobre aspectos morfofisiológicos da variedade IPA-Sertânia [*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck cv. IPA Sertânia] por dois anos consecutivos. Os autores observaram redução na espessura do cladódio em função do aumento da salinidade da água de irrigação (de 1,93 para 1,38 cm), mas somente no primeiro ano de avaliação. Já para o IAC, no segundo ano do experimento, os autores observaram efeito quadrático positivo, com aumento em função dos níveis de salinidade (de 4,48 para 6,28).

Métodos de avaliação de características morfogênicas em plantas forrageiras

Pastagens, capineiras ou banco forrageiros podem ser avaliados com diversos propósitos, para observar: (i) diversidade florística; (ii) cobertura vegetal do solo; (iii) produção de matéria seca; (iv) efeito de alterações no manejo (e.g.,

fertilização, irrigação, frequência e intensidade de desfolhação); (v) efeito de variáveis climáticas; e (vi) acúmulo de forragem em diferentes sistemas de produção. Para tanto, metodologias confiáveis e representativas devem ser adotadas visando alinhar precisão e exatidão dentro de um contexto viável de execução dessas mensurações (t'Mannejte & Jones, 2000).

Na avaliação da morfogênese de gramíneas em pastagens, a metodologia padrão utilizada é a marcação de perfilhos com fita ou fio plástico. Em pastagens de gramíneas cespitosas (e.g., Capim-elefante), os perfilhos avaliados são marcados em touceiras, enquanto em pastos formados por espécies estoloníferas ou de hábito de crescimento decumbente (e.g., capim-braquiária), transectos são geralmente estabelecidas dentro da unidade experimental (pasto ou piquete). Essas transectos têm a função de localização dos perfilhos ao longo do crescimento dos pastos. A partir desta marcação, as medições são realizadas em períodos pré-estabelecidos, como por exemplo, a cada 3 ou 7 dias. As mensurações são feitas com auxílio de paquímetro, trena ou régua graduada em milímetros ou centímetros, dependendo da variável avaliada (Morais et al., 2018).

Leguminosas também podem ser avaliadas em transectos se forem estoloníferas, como no caso do Amendoim forrageiro, mas podem ser avaliadas por planta, como no caso da Jureminha (Costa, 2020). Vale ressaltar que leguminosas forrageiras, sobretudo as tropicais, apresentam diversos portes e hábitos de crescimento (Castro-Montoya & Dickhoefer, 2020), e a metodologia de avaliação da morfogênese deve ser adaptada em função das características morfológicas de cada espécie.

Já as cactáceas são avaliadas por planta, e o alvo de investigação e das medições são os cladódios (Pinheiro et al., 2014), como mencionado anteriormente. Neste sentido, uma das variáveis morfológicas importantes mensuradas é o índice de área de cladódio (IAC), que é obtido pela relação entre a área total dos cladódios e a área que a planta ocupa no solo. Diferentemente do IAF, as duas faces do cladódio devem ser consideradas no cálculo do IAC (Nobel & Bobich, 2002), que pode variar com o tipo de gênero, clone e fatores ecológicos. A obtenção da área do cladódio (AC) para calcular o IAC pode ser feita por método direto, com colheita e mensuração dos cladódios, ou pode ser feita por métodos indiretos que envolvem uso de câmeras digitais, aplicativos de *smartphone* ou *scanners* (Silva et al., 2014). A AC em variedades de *Opuntia*, por exemplo, é aproximadamente sua largura vezes seu comprimento, multiplicado por dois (incluindo ambos os lados), vezes cerca de 1,05 (para levar em conta a margem periférica desses órgãos são relativamente grossos), multiplicada

por π/4, 0,785, o mesmo fator que relaciona a área de um círculo ao seu diâmetro ao quadrado, ou, seja, a área de círculo é igual a (diâmetro= 2/4) (Nobel, 2011).

Metodologias aplicadas e resultados obtidos em pesquisas recentes

Metodologias inovadoras têm sido utilizadas para caracterizar a morfogênese e outros aspectos morfofisiológicos de plantas forrageiras, sobretudo em leguminosas tropicais e cactáceas, cujos estudos são ainda insipientes (Morais et al., 2018). Costa (2020) avaliou o potencial da Jureminha, leguminosa nativa do Semiárido Brasileiro, submetida a diferentes densidades de plantio e intensidade de colheita, por meio da determinação das características morfogênicas. Metodologia foram utilizadas para determinar variáveis referentes ao incremento na altura de planta, expansão de copa, e as morfogênicas, foram calculadas por meio da análise de regressão linear simples das variáveis morfológicas medidas (Y) em função dos dias (X), considerando o coeficiente de regressão (a) igual a taxa, ou seja, a velocidade relativa de crescimento da variável morfológica em relação aos dias. Nesse contexto, as taxas morfogênicas foram estimadas utilizando a altura de planta, diâmetro de copa, as TApF (número de folhas por ramo), TAlF (comprimento da folha), taxa de expansão foliar (largura da folha) e alongamento dos ramos (comprimento do ramo). A taxa de expansão de copa sofreu efeito da altura de colheita sendo maior a 20 cm (0,88 cm dia^{-1}). Para as taxas morfogênicas, o alongamento dos ramos (1,14 cm dia^{-1}), o aparecimento de folhas (0,19 folhas dia^{-1}), o alongamento de folhas (0,041 cm dia^{-1}) e a expansão foliar (0,020 cm dia^{-1}) não sofreram efeitos das alturas de cortes utilizadas, mas foram maiores nas colheitas da época chuvosa.

Silva (2021) estimou respostas morfogênicas nas leguminosas forrageiras Estilosantes. cv. Campo Grande; Jureminha e Cunhã em função da frequência de corte, sob balanço hídrico negativo. O autor determinou as taxas por meio da diferença entre avaliações consecutivas para uma característica estrutural dividido pelo período entre avaliações (15 dias). Nas avaliações foram marcadas duas plantas representativas da subparcela. Nestas plantas foram marcados dois ramos representativos e em cada ramo duas folhas foram usadas para mensurações. A partir dos dados obtidos com as mensurações das características estruturais, foram estimadas as características morfogênicas: taxa de crescimento (considerando os dados de altura da planta, em $cm.dia^{-1}$), TApF (folhas $ramo^{-1}$ dia^{-1}), filocrono (dias $folhas^{-1}$ $ramo^{-1}$) (Figura 3), TAlF, taxa de expansão lateral e de alongamento de ramos (cm dia^{-1}). A frequência de

corte de 90 dias favoreceu a maior quantidade de folhas no Estilosantes cv. Campo grande em virtude da maior taxa de aparecimento foliar e menor filocrono. A Jureminha apresentou maior taxa de crescimento e taxa de alongamento de ramos. A Cunhã priorizou o alongamento das folhas, e folhas com maiores dimensões foram observadas.

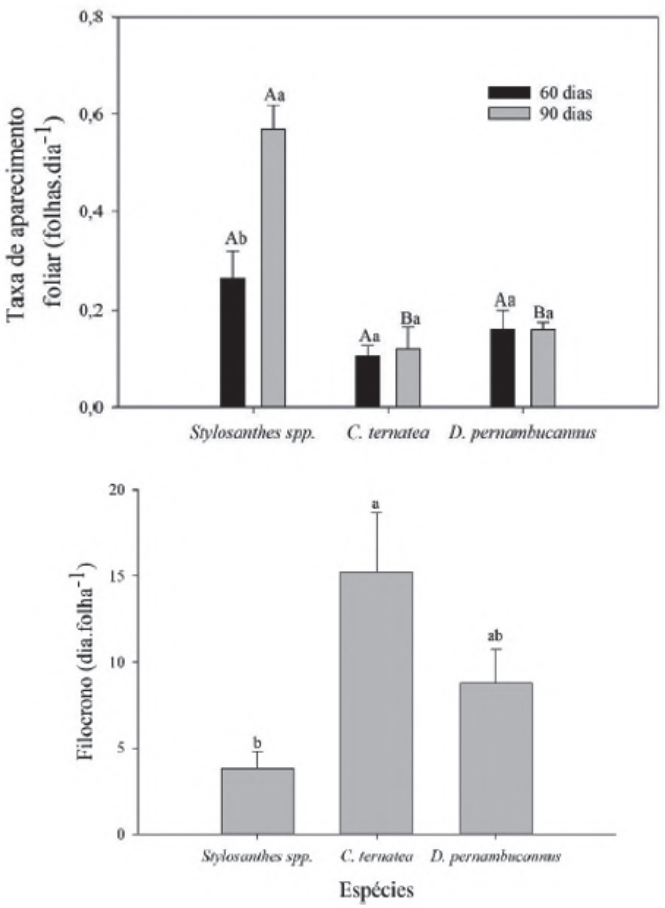

Figura 3. Taxa de aparecimento foliar (folhas dia^{-1}) e Filocrono (dia folha^{-1}) de leguminosas forrageiras sob diferentes frequências de corte, Carpina-PE. Barras com mesma letra minúscula dentro de leguminosas não diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).

Fonte: Adaptado de Silva (2021).

Avaliando palma forrageira, Dantas et al (2023) avaliaram características morfológicas da cultivar IPA-Sertânia [*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck cv. IPA Sertânia] sob diferentes níveis de salinidade na irrigação por gotejamento superficial. Para tanto, os autores avaliaram número de cladódios por planta, altura e largura de planta (cm), além de comprimento, largura, espessura e perímetro dos cladódios (cm). As características morfológicas foram mensuradas com a auxílio de fita métrica graduada, enquanto a espessura do cladódio foi determinada com uso de paquímetro digital. Essas medições foram realizadas em cladódios representativos das plantas. O IAC foi calculado considerando as duas faces do cladódio, com o uso da fórmula: IAC = AC ÷ área do solo ocupada pela planta × 2 (duas faces do cladódio) (Nobel & Bobich, 2002).

Além disso, modelos matemáticos já foram desenvolvidos para estimar a AC indiretamente, via resultados de variáveis morfológicas não-destrutivas (e.g., altura de planta, largura e comprimento dos cladódios). Pinheiro et al. (2014) desenvolveram um modelo para estimar AC, utilizando largura e comprimento dos cladódios (LC e CC, respectivamente), cuja a equação é: $AC = 0{,}7086\ (1-e^{(-0{,}000045765 \times CC \times .LC)} \div 0{,}000045765)$. O modelo mostrou-se adequado e já foi utilizado em outras avaliações morfofisiológicas da palma forrageira (Ferreira et al., 2023).

Considerações finais

Fatores ecológicos como temperatura, luminosidade e precipitação pluviométrica, somado às estratégias de manejo como aumento da pressão de pastejo, da frequência e da intensidade de desfolha, bem como sombreamento, irrigação, adubação e outros, modificam substancialmente as características morfogênicas de plantas forrageiras tropicais. No entanto, essas características, em parte, são determinadas geneticamente e são inerentes às famílias de plantas (gramíneas, leguminosas ou cactáceas) e espécies forrageiras, considerando o hábito de crescimento e as características morfológicas de cada uma delas.

A padronização de metodologias possibilita comparações mais adequadas das medidas obtidas nas diferentes condições edafoclimáticas e para distintas espécies. Há maior ou menor complexidade na avaliação da morfogênese de plantas forrageiras em função dos fatores ecológicos envolvidos, mas também por conta das características inerentes a cada espécie (e.g., velocidade e hábito de crescimento) e da dinâmica de vegetação formada no dossel dessas plantas.

Referências

ANJOS, J. A. et al. Forage mass and morphological composition of Marandu palisade grass pasture under rest periods. **Ciência e Agrotecnologia,** v. 40, p.76–86, 2016.

Antunes, L. E. et al. Intermittent stocking strategies for the management of Marandu palisade grass in the Brazilian Cerrado biome. **Grassland Science**, v.68, p. 70–77, 2022.

BARBOSA, M. L. et al. The influence of cladode morphology on the canopy formation of forage cactus plants. **Revista Caatinga**, v. 31, p. 180-190, 2018.

BRAZ, T. G. S. et al. Análise de correlação parcial no estudo da morfogênese e do acúmulo de forragem de Panicum maximum cv. 'Tanzânia'. **Ciência Rural**, v. 47, 2017.

CARVALHO, C. A. B. de et al. Morphogenetic and structural traits of tillers and herbage accumulation of Tanganyika grass under shading levels. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 23, 2022.

CASTRO-MONTOYA, J. M.; DICKHOEFER, U. The nutritional value of tropical legume forages fed to ruminants as affected by their growth habit and fed form: A systematic review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 269, p. 114641, 2020.

CHAPMAN, D. F.; LEMAIRE, G. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. *In*: BAKER, M. J. (Ed.). **Grasslands for our world**. Nova Zelândia: SIR Publishing, 1993. p. 55-64.

CIRINO JUNIOR, B. et al. Initial growth of forage cactus clones at different potassium fertilization levels. **Ciência Animal Brasileira**, v. 23, p. e70836, 2022.

COSTA, M. N. F. **Caracterização morfogênica e estrutural de *Desmanthus pernambucanus* (L.) Thellung sob diferentes densidades de plantio e altura de colheita**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 51f, 2020.

CUNHA et al. Morfometria e acúmulo de biomassa em palma forrageira sob doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**. v.13, p.1156-1165, 2012.

CRUZ, N. T. et al. Factors affecting the morphogenic and structural characteristics of forage plants. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, e5410716180, 2021.

DANTAS, F. D. G. et al. Drip irrigation with saline water combined with mulch cover as strategies for forage cactus production in semi-arid zones. **Irrigation Science**, v. 41, n. 2, p. 295-308, 2023.

DA SILVA, S. C.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 122-138, 2007.

DA SILVA, S. C.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; EUCLIDES, V. B. P. **Pastagens: conceitos básicos, produção e manejo**. Viçosa: Suprema, 2008. 115p.

DA SILVA, S. C.; SBRISSIA, A. F.; PEREIRA, L. E. T. Ecophysiology of C4 forage grasses—understanding plant growth for optimising their use and management. **Agriculture**, v. 5, n. 3, p. 598-625, 2015.

DUARTE, C. F. D. et al. Morfogênese de braquiárias sob estresse hídrico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 71, n. 5, p. 1669-1676, 2019.

DUBEUX JR, J. C. B. et al. Cactus (*Opuntia* and *Nopalea*) nutritive value: a review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 275, e114890, 2021.

FERREIRA, C. M. et al. Effect of plant spacing and cutting intensity on the morphology andproductivity of forage cactus [Opuntia stricta (Haw.) Haw.]. **African Journal of Range & Forage Science**, p. 1-10, 2023.

FERRAZ, A. P. F. **Avaliação de clones de palma forrageira no Agreste e Sertão de Pernambuco**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Universidade Federal do Ceará, Universidade Federal da Paraíba, Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia, Recife, BR-PE, 2018. 148 f.

FONSECA, D. M.; MARTUSCELLO, J. A. **Plantas forrageiras**. (2° Ed.). Viçosa: Editora UFV, 2010. 591p.

FONSECA, V. A. et al. Morphometry and yield of 'Gigante'forage cactus pear under irrigation and different planting densities. **Revista Caatinga**, v. 36, p. 690-701, 2023.

GASTAL, F.; LEMAIRE, G. Defoliation, shoot plasticity, sward structure and herbage utilization in pasture: Review of the underlying ecophysiological processes. **Agriculture**, v. 5, n. 4, p. 1146-1171, 2015.

GOMIDE, C. A. M. et al. Productive and morphophysiological responses of Panicum maximum Jacq. cv. BRS Zuri to timing and doses of nitrogen application and defoliation intensity. **Grassland Science**, v. 65, n. 2, p. 93-100, 2018.

GOMIDE, J. A.; CANDIDO, M. J. D.; ALEXANDRINO, E. As interfaces solo-planta-animal da exploração da pastagem. *In*: EVANGELIESTA, A. R.; REIS, S. T.; GOMIDE, E. M. (Ed.). **Forragicultura e pastagens: temas em evidência – sustentabilidade**. Lavras: UFLA, 2003. p. 75-116.

GOMIDE, J. A.; GOMIDE, C. A. M. Morfofisiologia de gramíneas forrageiras. *In*: REIS, R. A.; BERNARDES, T. F. **Forragicultura: ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiros**, Jaboticabal: Maria de Lourdes Brandel – ME, 2013. p. 31-50.

HILLIER, J.; MAKOWSKI, D.; ANDRIEU, B. Maximum likelihood inference and bootstrap methods for plant organ growth via multi-phase kinetic models and their application to maize. **Annals of Botany**, v. 96, p. 137-148, 2005.

INGLESE, P.; LIGUORI, G.; BARRERRA, E. Ecophysiology and reproductive biology of cultivated cacti. In: INGLESE, P. et al. **Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations and the International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, 2017. p. 29-42.

JACOBO, C. M.; CHESSA, I. Nopal (*Opuntia* spp.) genetic resources. In: INGLESE, P. et al. **Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations and the International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, 2017. p. 43-50.

LEMAIRE, G. et al. Interactions between leaf lifespan and defoliation frequency in temperate and tropical pastures: a review. **Grass and Forage Science**, v. 64, n. 4, p. 341-353, 2009.

LIMA, K. R. et al. Morfogênese e acúmulo de forragem da Urochloa ruziziensis sob manejo de adubação nitrogenada e potássica. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 4, p. 1605-1618, 2019.

LIN, C. H. et al. Nutritive quality and morphological development under partial shade of some forage species with agroforestry potential. **Agroforestry Systems**, v.53, p.269-281, 2016.

LOPES, C. M. et al. Plant morphology and herbage accumulation of signal grass with or without fertilization, under different light regimes. **Ciência Rural**, v. 47, n. 2, e20160472.

MARTINS, C. D. M. et al. Defoliation intensity and leaf area index recovery in defoliated swards: implications for forage accumulation. **Scientia Agricola**, v. 78, 2020.

MONDRAGÓN-JACOBO, C.; PÉREZ-GONZÁLEZ, S. (Ed.). **Cactus (*Opuntia spp*.) as forage**. Rome: Food & Agriculture Org., 2001. 153p.

MORAIS, L. F. et al. Avanços na avaliação de pastagens cultivadas com forrageiras tropicais no Brasil: Uma Revisão. Brazilian **Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v. 11, n. 2, p. 125-136, 2018.

NOBEL, P. S. **Sabiduría del desierto, agaves y cactos: CO_2, agua, cambio climático**. Madri: Mundi Prensa, 2011. 160p.

NOBEL, P. S.; BOBICH, E. G. Environmental biology. In: NOBEL, P. S. (ed) **Cacti, biology and, uses**. Los Angeles: University of California Press, 2002. p. 57–74.

NUNES, J. S. L. et al. Morfogênese da palma forrageira sob modificação do ambiente de crescimento. **Agrometeoros**, v.27, p.367-375, 2019.

OLIVEIRA, R. T. et al. Multivariate of forage biomass, nutritional value and animal performance in pastures of Brachiaria brizantha. **Colloquium Agrariae**, v. 15, n. 4, p. 107-113, 2019.

PACIULLO, D. S. C. et al. Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. **Grass and forage Science**, v. 72, n. 3, p. 590-600, 2017.

PEREIRA, J. C. et al. Defoliation management affects morphogenetic and structural characteristics of mixed pastures of brachiaria grass and forage peanut. **African Journal of Range & Forage Science**, v. 34, n. 1, p. 13-19, 2017.

PEREIRA, P. C. et al. Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. **Revista Caatinga**, v. 28, p. 184-195, 2015.

PIMENTEL, R. M. et al. Ecophysiology of forage plants. **PUBVET**, v. 10, n. 9, p. 666-679, 2017.

PINHEIRO, K. M. et al. Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 939-947, 2014.

PONTES, L. S. et al. Effects of nitrogen fertilization and cutting intensity on the agronomic performance of warm-season grasses. **Grass Forage Science**, v. 72, p. 663–675, 2016.

POPOVIĆ, Z.; VIDAKOVIĆ, V. Ecophysiological and Growth-Related Traits of Two Geophytes Three Years after the Fire Event in Grassland Steppe. **Plants**, v. 11, n. 6, p. 734, 2022.

QUEIROZ, I. V. et al. Biomass and chemical responses of *Desmanthus* spp. accessions submitted to water deprivation. **Revista Caatinga**, v. 34, p. 937–944, 2021.

RAMOS, B. L. P. et al. Forage production, morphogenetic and structural components, and nutritional value of tropical grasses in the semiarid condition. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 43, n. 6, p. 2499-2516, 2022.

RODRIGUES, C. M. **Características morfogênicas e estruturais de trevo-persa (*Trifolium resupinatum* L.) em consórcio com azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) submetidos a distintas alturas e intervalos de corte**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2010. 81f.

SHEEHY, J. E.; COOPER, J. P. Light interception, photosynthetic activity, and crop growth rate in canopies of six temperate forage grasses. **The Journal of Applied Ecology**, p. 239-250, 1973.

SILVA, P. H. F. et al. Agronomic responses and herbage nutritive value of elephant grass (*Cenchrus purpureus*) genotypes grown as monocrops and mixed with butterfly pea (*Clitoria ternatea*). **Crop and Pasture Science**, v. 174, n. 9, p. A-M, 2023.

SILVA, P. H. F. et al. Radiation use efficiency and canopy structure of contrasting elephant grass varieties grown as monocrops and intercrops with butterfly pea. **The Journal of Agricultural Science**, v. 161, n. 1, p. 88-96, 2023.

SILVA, P. H. F. et al. Tall and short-sized elephant grass genotypes: morphophysiological aspects, cut-and-carry, and grazing management. **Ciência Rural**, v. 51, p. e20200848, 2021.

SILVA, P.S.F. **Comportamento e caracterização de clones de palma forrageira sob diferentes condições de cultivo**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Recife, PE, 2019. 103 f.

SILVA, R. C. M. **Respostas morfogênicas e estruturais em leguminosas forrageiras em função da frequência de corte, sob balanço hídrico negativo.** Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 65f, 2021.

SILVA, S. C. et al. Nutritive value and morphological characteristics of Mombaça grass managed with different rotational grazing strategies. **The Journal of Agricultural Science**, p. 1-7, 2020.

SILVA, S. F. et al. Agronomic characteristics and chemical composition of *Gliricidia sepium* grown under different residual heights in different seasons. **Ciência e Investigación Agraria**, v. 44, n. 1, p.35-42, 2017.

SILVA, T. G. F. et al. **Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 4, p. 633-641, 2014.

SPIGARELLI, C. et al. Welfare Assessment on Pasture: A Review on Animal-Based Measures for Ruminants. **Animals,** v. 10, e609, 2020.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed Editora, 2017. 888p.

'T MANNETJE, L.; JONES, Richard M. (Ed.). **Field and laboratory methods for grassland and animal production research**. Londres: CABI publishing, 2000. 447p.

VÉRAS, E. L. L. et al. Tillering capacity of Brachiaria cultivars in the Brazilian Semi-Arid Region during the dry season. **Tropical Animal Science Journal**, v. 43, n. 2, p. 133-140, 2020.

WILSON, J. W. Influence of spatial arrangement of foliage area on light interception and pasture growth. **Proceedings 8th int. Grassld Congr**, v. 1., p. 275-279, 1960.

ZANINE, G. D.; SANTOS, G. T.; SBRISSIA, A. F. Frequencies and intensities of defoliation in Aruana Guineagrass swards: accumulation and morphological composition of forage. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n.4, 905-913, 2012.

05

Manejo de pastagens e capineiras

Alexandre Carneiro Leão de Mello[1]
Ana Maria Herrera Angulo[2]
Pedro Henrique Ferreira da Silva[3]
Tadeu Vinhas Voltolini[4]

Introdução

A exploração pecuária, no Brasil, trata-se de uma das atividades econômicas de maior relevância para o Produto Interno Bruto (PIB) do país. Considerando-se os valores médios históricos (1995 a 2021) da dimensão da atividade agropecuária (apenas a produção "dentro da porteira"), o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apresenta um valor em torno de 4,8% do PIB brasileiro. Entretanto, considerando a dimensão das cadeias produtivas como um todo, o chamado agronegócio, o CEPEA-USP/CNA demonstra um valor, para o mesmo período de 1995 a 2021, em torno de 23% do PIB. Juntamente com a produção de grãos, a pecuária representa a maior parte do agronegócio brasileiro.

O Brasil é detentor do maior rebanho bovino comercial do mundo, o que, em conjunto com sua área continental, torna o país um grande produtor de

[1] Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco. alexandre.lmello@ufrpe.br; Bolsista do CNPq.
[2] Universidad Nacional Experimental del Táchira-Venezuela; aherrera@unet.edu.ve
[3] Instituto Nacional do Semiárido/INSA-MCT; pedro.silva@insa.gov.br
[4] EMBRAPA Semiárido; tadeu.voltolini@embrapa.br

proteína de origem animal. Toda a produção pecuária origina-se na exploração de plantas forrageiras, sendo a sua grande maioria, produzida a pasto. Somada à produção baseada em pastagens, a exploração de capineiras, forma de utilização em que a forragem é colhida e levada aos animais, assume relevante importância na alimentação animal, sobretudo nos sistemas baseados em confinamento, bem como na suplementação dos animais criados a pasto.

Dentre os diversos fatores componentes dos sistemas de produção animal, o manejo de utilização das plantas forrageiras, seja como pasto ou como capineira, configura-se como um dos mais importantes. Pode-se conceituar o manejo como o conjunto de todas as intervenções realizadas para a adequada utilização das plantas forrageiras, englobando todas as suas interfaces com os demais componentes do sistema, quais sejam o solo, o ambiente e os animais de produção, objetivando, sempre, o maior aproveitamento possível dos recursos forrageiros e, portanto, elevadas produtividades animal.

Os princípios básicos do manejo da planta forrageira são relatados e compilados por Neiva & Cândido (2003), como sendo: manutenção das espécies forrageiras desejadas no sistema (persistência da planta forrageira, sobretudo se tratando de plantas perenes), promoção de elevada velocidade de crescimento inicial ou no rebrote, maior aproximação possível das curvas de produção e qualidade da forragem produzida e, por fim, redução dos custos operacionais do sistema de produção.

Seguindo esses princípios, o manejo da planta forrageira deve objetivar, simultaneamente, as maiores produtividades vegetal e animal e a persistência das espécies forrageiras. Nesse contexto, pontos relevantes a serem observados tem início mesmo antes do plantio da forrageira. Dois fatores preponderantes para o sucesso do sistema de produção residem na fase de estabelecimento da área (pastagem/capineira), sobretudo nas escolhas do local de plantio e da(s) espécie(s) forrageira(s) a ser(em) estabelecida(s). Ambos os fatores devem levar em consideração algumas características do sistema, tais como a forma de utilização que a forrageira será submetida (pasto, capineira ou ambos), potencial produtivo e qualitativo da forrageira, condição do solo da possível área de plantio (topografia, fertilidade, profundidade, capacidade de drenagem, etc.); distância do centro de manejo dos animais, proximidade de pontos naturais de água ou possibilidade de bombeamento de água para os animais, tamanho da área, dentre outros.

A exploração de plantas forrageiras, quando manejadas adequadamente, além de alcançar os objetivos produtivos, tem potencial de prover relevante diversidade de serviços ambientais e ecossistêmicos (Sollenberger et al., 2019;

Dubeux Jr. et al., 2022), desde serviços de provisão (produtos obtidos, como carne, leite, madeira, etc.), regulação (regulação natural dos processos ecossistêmicos, como exemplo o controle da erosão do solo, sequestro de carbono, etc.), cultural (lazer, ecoturismo, etc.) e de suporte (tais como ciclagem de nutrientes, mantendo ou elevando a fertilidade do solo).

Apesar de todos os aspectos relevantes da exploração de plantas forrageiras, sua utilização de forma eficiente e persistente ainda é, talvez, o maior desafio dos sistemas de produção animal no Brasil. Para exemplificar este fato, tomando-se como base as pastagens cultivadas no Brasil central, estima-se que 80% dessa área encontra-se em algum estágio de degradação (Carvalho et al., 2017). Segundo Nascimento Jr. et al. (1994), alguns estágios de degradação podem ser facilmente identificados e são característicos da maioria das pastagens degradadas, que são distúrbio fisiológico da espécie dominante, alteração na composição botânica e invasão de novas espécies. Assim, quando a composição botânica do pasto vai sofrendo alteração em termos de proporção de forrageiras desejáveis e de plantas invasoras e, em último estágio, no aumento da proporção de áreas de solo descoberto, a pastagem vai assumindo diferentes níveis de degradação.

As razões para a reduzida persistência das plantas no sistema de produção animal são diversas, entretanto, as principais residem em fatores de manejo, sobretudo a utilização de frequências e intensidades de colheita que não "respeitam" a fisiologia das plantas, as quais vão, paulatinamente, perdendo sua capacidade de se recuperar após colheitas sucessivas (obviamente quando se trata de plantas perenes). Juntamente com o manejo inadequado de colheitas, a reduzida ou nula reposição de nutrientes ao solo, também considerada uma prática de manejo, reforçam ainda mais o processo de degradação das pastagens/capineiras.

Assim, considerando que o manejo das plantas forrageiras se trata do ponto central do sucesso dos sistemas de produção animal, este capítulo abordará os principais pontos relativos a este tema que devem ser considerados, visando sistemas produtivos, persistentes e sustentáveis.

Manejo de colheita

O manejo do pastejo ou corte afeta o desenvolvimento da forrageira de forma diferente (Sollenberger, 2020), tendo ambos os manejos influência nos indicadores produtivos e qualitativos, bem como na plasticidade fenotípica da forrageira (Tesk et al., 2018). Essa diferença está relacionada, sobretudo, em função da presença do

animal, o qual, durante a ação do pastejo, além da defoliação, promove algumas ações prejudiciais às plantas, tais como o pisoteio, deposição de fezes e urina e pastejo seletivo (plantas ou partes delas) (Grace et al., 2019). Assim, é necessário ter bem definida a forma de utilização da forrageira, se será para capineira (*in natura* ou conservada na forma de silagem ou feno) ou pastejo, visando tomadas de decisão sobre as frequências e intensidades de colheitas adequadas.

Intensidade do pastejo/corte

A intensidade de colheita está relacionada com a quantidade de forragem a ser colhida. Segundo Sollenberger et al. (2012) e Euclides et al. (2019), a seleção adequada da intensidade de colheita pode ser considerada como prática das mais importantes dentre as decisões de manejo, pois pode, potencialmente, determinar a persistência do pasto/capineira e o nível de produção por animal e por unidade de área. Essa seleção deve ser baseada no animal, na forrageira ou em ambos (Sollenberger, 2020), garantindo a capacidade de recuperação do índice de área foliar (IAF) da comunidade vegetal para o próximo corte ou pastejo. Enquanto a altura de colheita é o critério normalmente utilizado na definição da intensidade de corte da capineira, algumas outras variáveis, além da altura pós-pastejo (Euclides et al., 2016), vem sendo recomendadas na seleção da intensidade de pastejo, tais como taxa de lotação (Coffey et al., 2017), massa de forragem residual, oferta de forragem (Dias et al., 2016), IAF residual, dentre outras.

De maneira geral, reduzidas intensidades de colheita (elevado resíduo) promovem maior ganho individual, menor ganho por área, maior consumo de MS pelos animais, menor eficiência de utilização da forragem e maior persistência das plantas, enquanto maiores intensidades promovem o inverso desses efeitos (Tabela 1). Em sistemas de pastejo, diferenças no desempenho animal individual podem ser consequência das diferenças no consumo de forragem, uma vez que maiores ganhos foram registrados em pastagens com menor pressão de pastejo, associado a maiores ofertas de forragem e, consequentemente, massa de bocados e taxa de ingestão de forragem.

Tabela 1. Massa de forragem, consumo e desempenho animal sob diferentes intensidades de pastejo

Manejo	Espécie	MF (kg MS/ha)	Consumo (kg MS/100 kg PC)	GMD (kg/ animal)	Referência
TL					
Baixa	*Lolium perenne* L.	19,0	15,4**	---	Coffey et al. (2017)
Média		16,0	14,4**	---	
Alta		16,6	14,1**	---	
OF (kg MS/100 kg PC)					
5	*Urochloa brizantha* (Hochst.) Stapf. cv. Marandu	1,51	---	0,42	Dias et al. (2016)
10		2,02	---	0,75	
15		2,20	---	0,63	
AD (cm)					
15	Marandu*	2,48	1,99	0,65	Euclides et al. (2019)
30		4,86	2,60	0,75	
45		5,87	2,31	0,77	
AR (cm)					
30	*Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon cv. Mombaça	6,43	2,0	0,39	Euclides et al. (2016)
50			2,6	0,65	

TL: taxa de lotação; OF: oferta da forragem; AD: altura mantida sob lotação continua e taxa de lotação variável; AR: altura do resíduo (lotação rotacionada); *Período chuvoso; **Consumo expresso em kg MS/animal/dia; GMD: ganho médio diário.

Assim, a escolha da intensidade de colheita deve ser realizada levando-se em consideração os demais fatores de manejo, sobretudo a frequência de colheita, bem como o objetivo do sistema de produção.

Em biomas com elevada variabilidade na composição botânica do pasto e diferentes tipos de animais (bovinos, ovinos e caprinos) pastejando/ramoneando, a exemplo da Caatinga, um pastejo intenso pode levar a severa redução no número de espécies forrageiras e, assim, alterar diretamente a composição da comunidade de espécies de plantas presentes (Tavares et al., 2016). Nestas áreas de pastagens é importante considerar a seletividade animal para os diferentes tipos de plantas, visando melhor utilização da forragem produzida (Voltolini & Gois, 2021). Assim, essa melhor distribuição da pressão de pastejo, em virtude das diferenças na seleção da dieta, poderia favorecer a manutenção da diversidade botânica do pasto (Araújo Filho & Crispim, 2002).

Em relação às capineiras, a altura de corte é a principal ferramenta na definição da intensidade de colheita. No Brasil, em regiões de maior precipitação anual (ou na presença de irrigação), tais como regiões litorâneas e zona da mata, o Capim-elefante (*Cenchrus purpureus* Schumach) é a espécie dominante na exploração de capineiras, especificamente os cultivares de porte alto, sendo muito utilizados os cultivares Cameroon, Napier e BRS Capiaçu (Souza et al., 2022). Características de porte alto, como elevados valores de massa de forragem, reservas orgânicas, número de perfilhos basilares e alongamento do colmo, vem favorecem sua utilização sob a forma de capineira, não apenas para a alimentação animal, como também para a produção de energia em setores da indústria (Silva et al., 2021). O manejo da altura de corte desta espécie deve visar maximizar a produção de MS e manter um alto valor alimentício sem detrimento da persistência da planta (Jørgensen et al., 2010).

Em regiões de maior déficit hídrico, como no semiárido brasileiro, a palma forrageira (*Opuntia* sp. e *Nopalea* sp.) é a principal cultura de corte explorada para a alimentação de ruminantes. Diferente do manejo do capim-elefante, a intensidade de corte nesta cultura é ajustada através da ordem de cladódio preservada após o corte. De maneira similar às demais forrageiras, quanto maior a preservação de resíduo após a colheita, maiores produtividades de forragem são alcançadas (Tabela 2), entretanto, colhe-se menos forragem em cada colheita individual. Este comportamento, pode-se associar a uma maior área fotossintética remanescente (índice de área de cladódio) (Pereira et al., 2020) e pelo maior número de pontos de rebrota (Lima et al., 2016), que podem favorecer uma regeneração mais rápida e maior produtividade.

Tabela 2. Produção de MS de espécies de palma forrageira com diferentes intensidades (IC) e frequências de corte (FC)

Clone	Plantas/ha	Espaçamento	IC	FC	PMS (Mg/ha)	Referência
IPA Sertânia[1] + Leucena[5]	32.000**	1,0 × 0,25 m	CM	1 ano	2,4	Saraiva et al. (2022)
				2 anos	3,9	
Progênie IPA-200149[2]	20.000	1,0 × 0,5 m	CM	17 meses	12,7	Garcia et al. (2021)
OEM[3]	25.000	1,0 × 0,4 m		330 dias	16,4	Ramos et al. (2021)
OEM[3]	43.478	---	CM	1 ano	20,92	Pereira et al. (2020)
			CP		37,55	
			CS		33,18	
Gigante[4]	50.000	2,0 × 0,1 m	CM	1 ano	14,95	Lima et al. (2016)
			CP		22,34	
			CS		34,71	
Gigante[4]	20.000	1,0 × 0,5 m	CP	600 dias	21,5	Donato et al. (2016)

[1]*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck; [2]*Opuntia*; [3]Orelha de Elefante Mexicana [*O. stricta* (Haw.)]; [4]*O.*; [5]*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. **Densidade de plantas da leguminosa: 4.000 plantas/ha; CM, CP e CS: cladódio mãe, primário e secundário; PMS: produção de matéria seca.

Frequência do pastejo/corte

A frequência de colheita está relacionada com a duração da estação de crescimento ou período de tempo entre colheitas sucessivas. Em condições de pastejo, o manejo da frequência é realizado por meio de critérios, tais como descanso em dias fixos ou descanso variável, de acordo com a percentagem de interceptação luminosa atingida (Euclides et al., 2014; Antunes et al., 2022), altura do pasto pré-pastejo (Emerenciano Neto et al., 2017), índice de área foliar e/ou número de folhas vivas por perfilho (Cândido et al., 2005). Para manejo de capineiras, são considerados principalmente a idade da rebrota em dias e/ou a altura das plantas (Ramos-Trejo et al., 2016; Monção et al., 2020).

Em condições de pastejo, o grau em que os animais colhem a forragem acumulada é proporcional a pressão de pastejo imposta, sendo necessária uma maior compreensão da interação entre os efeitos da intensidade de desfolha na rebrota subsequente, assim como o padrão de mudanças na taxa média de crescimento de cada espécie forrageira (Parsons & Johnson, 1988). A compreensão da morfogênese da planta pode contribuir no planejamento do manejo da frequência x intensidade

de colheita para maximizar a taxa de acúmulo e utilização da forragem produzida (Sbrissia et al., 2018).

Uma vez que a colheita remove o tecido foliar, a fotossíntese é reduzida e o crescimento é determinado pelos carboidratos de reserva disponíveis (Briske & Richards, 1993). Porém, se a desfolha for pouco frequente, a restauração do suprimento de carboidratos e dos padrões de crescimento ocorrerá antes de outro evento de desfolha (Lemaire & Chapman, 1996). Independentemente dos critérios utilizados por diferentes autores para avaliar a frequência de pastejo (Tabelas 3 e 4), é notável que o incremento nos dias de descanso (menor frequência) promoveu massa de forragem superior, embora com menor valor nutritivo (menor PB e maior lignina). Adicionalmente, esse incremento nos dias de descanso, favorece a oferta de forragem, permitindo aumento da taxa de lotação (Alvarenga et al., 2020; Euclides et al., 2014), porém, com redução no desempenho animal individual (Cândido et al., 2005; Euclides et al., 2014; Alvarenga et al., 2020).

Tabela 3. Massa e indicadores da composição bromatológica da forragem em diferentes frequências de pastejo

Manejo	Espécie	DD	Massa (Mg/ha)	PB (g/kg)	Lignina (g/kg)	Referência
APP (cm)						Emerenciano Neto et al. (2017)
30	*Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K.	72,9	5,8	---	---	
40	Simon cv. Massai	76,8	6,4	---	---	
45		88,0	7,5	---	---	
50		86,5	8,6	---	---	
Descanso						Euclides et al. (2014)
Fixo[1]	*M. maximus* cv. Tanzânia	30	3,03	113	31	
Variável[2]		23	2,23	156	28	
IL						Antunes et al. (2022)
95%	*Brachiaria brizantha* cv. Marandu	33,1	3,2	127	25	
Máxima		56,4	4.3	113	28	

APP: altura do pasto pré-pastejo; [1]30 dias (verão); IL: interceptação luminosa; [2]70 cm altura (95% IL); DD: dias de descanso; PB: proteína bruta.

Tabela 4. Desempenho animal em diferentes frequências de pastejo

Manejo	Espécie	DD	Taxa de lotação (UA/ha)	GMD (kg/ animal)	Referência
FP – IL	*Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon cv. Mombaça				Alvarenga et al. (2020)
90		27,1	3.6	0,77	
95		30,2	3.9	0,72	
Descanso	*M. maximus* cv. Tanzânia				Euclides et al. (2014)
Fixo*		30	7,7	0,63	
Variável**		23	5,8	0,83	
FPP	Mombaça				Cândido et al. (2005)
2,3		---	4,6	0,70	
3,5		---	5,2	0,55	
4,5		---	4,9	0,43	

FP-IL: frequência de pastejo em relação à interceptação luminosa (IL); *Descanso de 30 dias (verão); **Altura de entrada 70 cm altura (95% IL). FPP: folhas novas por perfilho; UA: unidade animal (450 kg); GMD: ganho médio diário.

O diferimento de pastos, técnica de vedação do(s) piquete(s) em parte da estação de crescimento, visando o acúmulo de forragem para o pastejo no período crítico do ano, em termos de oferta de forragem, é outra forma de manejo da frequência de pastejo. Pela facilidade de adoção e baixo custo do volumoso suplementar obtido, trata-se de uma técnica muito utilizada pelos pecuaristas. A principal ressalva dessa técnica de manejo reside na redução do valor nutritivo da forragem acumulada, que será diretamente proporcional ao período de vedação do pasto. Em consequência dessa perda qualitativa da forragem, a suplementação concentrada é normalmente imperativa, visando o atendimento das exigências nutricionais dos animais em pastejo.

Da mesma maneira que ocorre nas pastagens, a frequência de colheita nas capineiras vai influenciar no rendimento e na qualidade da forragem obtida. O aumento do intervalo entre cortes resulta em incrementos na quantidade de forragem, porém, paralelamente, ocorre declínio no valor nutritivo. Monção et al. (2020) observaram que o aumento da idade do capim Elefante 'BRS Capiaçu' elevou a produtividade e a eficiência do uso da água, porém promoveu redução da degradabilidade da MS.

Dentre as leguminosas utilizadas como legumineira, a *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp é uma das espécies arbóreas mais avaliadas em relação a frequência

de corte no Brasil (Edvan et al., 2014) e no México (Ramos-Trejo et al., 2016). Estes autores recomendam a colheita desta espécie com a frequência entre 60 e 90 dias, com o intuito de incrementar a produção de folhas em colheitas subsequentes.

Para a palma forrageira (*Nopalea* sp. e *Opuntia* sp.), em regiões semiáridas, frequências de corte entre um e dois anos (Tabela 2), a depender de fatores como o cultivar, densidade de plantas, tratos culturais (capina, irrigação, adubação), condições edafoclimáticas, dentre outros. Saraiva et al. (2022) demonstraram incremento de 41% na produção de palma IPA-Sertânia consorciada, quando colhida aos dois anos (Tabela 2). Já Lopes et al. (2021) observaram produtividade superior da palma Gigante, quando colhida com frequência anual. Porém, os autores recomendaram colheitas bienais, objetivando maior persistência do palmal.

Métodos de pastejo

Considerando o manejo de pastagens apenas, outro fator importante a ser definido consiste no método de pastejo, o que nada mais é do que a maneira como os animais têm acesso aos pastos (Sollenberger et al., 2012). Basicamente, o manejo do pastejo pode ocorrer de duas formas: quando os animais têm acesso a toda a área da pastagem durante a estação de crescimento, denominado de "lotação contínua", ou quando os animais tem acesso a subdivisões da pastagem em cada momento, gerando períodos de pastejo e períodos de descanso do pasto. Nesse caso, o método de pastejo é denominado de "lotação rotacionada" (Zhou et al., 2019) ou "lotação intermitente".

Lotação Contínua

A lotação contínua se caracteriza pela permanência ininterrupta do rebanho na área de pastejo durante um período ou estação de crescimento (Zhou et al., 2019), podendo-se utilizar um número fixo de animais (taxa lotação fixa) ou taxa de lotação variável (Sollenberger et al., 2012), conhecida como método "put and take" (Mott & Lucas, 1952)

Segundo Zhou et al. (2019), este método apresenta como vantagens (em relação à rotacionada) a adoção de taxas de lotação mais baixas, o que pode promover maior biodiversidade para fins de conservação, bem como menores custos com cercas, pois não é necessária a subdivisão das pastagens em piquetes. Entretanto, citam como principal desvantagem a maior seletividade dos animais por plantas

ou partes delas, podendo gerar desuniformidade do pastejo, bem como redução da diversidade de espécies palatáveis e cobertura do solo. Segundo Vecchio et al. (2019), este método ainda é o mais comum adotado em áreas de pastagens no Brasil, sobretudo pelo menor custo na adoção.

Lotação Rotacionada (Intermitente)

Allen et al. (2011) descrevem variações do método de lotação rotacionada: 1) "Mob grazing": pastejo de alta densidade animal em períodos curtos de tempo; 2) "Creep grazing": quantidades irrestritas de forragem de alta qualidade para maximizar o consumo, utilizado para animais jovens; 3) diferimento: adiar o pastejo em subdivisões que podem ou não estar em rotação sistemática com outras áreas; 4) Pastejo em faixas: limita os animais a uma área de pastejo em um tempo curto, onde o tamanho do piquete é variado, por meio de cerca móvel, para permitir o acesso a novas áreas; 5) "Primeiro-último" ("pastejo de desponte"): utiliza dois ou mais grupos de animais, geralmente com diferentes exigências nutricionais, para pastejar sequencialmente, com prioridade para os de maior exigência.

Com relação às vantagens/desvantagens deste método, em relação à lotação contínua, é o reverso do mencionado no primeiro. Dentre as vantagens destacam-se a maior uniformidade do pastejo e distribuição das excretas (importante na ciclagem de nutrientes), maior "acompanhamento" da condição dos pastos e dos animais, bem como maior eficiência de utilização da forragem produzida. As principais desvantagens da lotação rotacionada incluem possíveis danos por pisoteio (Zhou et al., 2019) e, sobretudo, os maiores custos por infraestrutura na necessidade de adoção das cercas divisórias. Entretanto, o que se observa na prática é que, em sistemas mais intensivos de produção a pasto, a grande maioria utiliza a lotação rotacionada. Isto se deve ao fato de, pela necessidade de intervenções mais frequentes no manejo dos animais, para mudança dos mesmos entre os piquetes, o acompanhamento do manejo é mais eficiente, condição capital para o sucesso do sistema de produção a pasto.

Vale salientar que, apesar das diferenças práticas entre os métodos, o fator mais determinante do sucesso do manejo do pastejo não reside na escolha do método de pastejo e, sim, na adoção da pressão de pastejo adequada, ou seja, independente do método de pastejo, a quantidade de animais deve ser compatível com a quantidade de forragem disponível no pasto, de acordo com o objetivo do sistema de produção. Quando a pastagem é adequadamente manejada, as diferenças obtidas para as variáveis produtivas são mínimas, quando se comparam os dois

métodos de pastejo (Tabela 5). Normalmente, as diferenças observadas na taxa de lotação, são "compensadas" pelas diferenças no desempenho individual animal ou na produtividade animal por área.

Tabela 5. Manejo do pasto e desempenho animal comparando os métodos de lotação contínua (Cont.) e rotacionada (Rot.)

Espécie forrageira-Sistema/ Animal	OF (kg/100 kg PC)		TL (kg PC/ ha)		GMD (kg/animal)		Referência
	Cont.	Rot.	Cont.	Rot.	Cont.	Rot.	
ILP*/ Cordeiros	17,2a	17,5a	888a	883a	0,15a	0,10b	Savian et al. (2014)
ILP*/ Ovelhas	23,4a	23a	853b	872a	0,13a	0,11b	Moojen et al. (2022)
Campo Nativo Bioma Pampa/ Novilhas	17,4a	15,4a	617a	470a	-0,3a	-0,3a	Soares et al. (2015)
Paspalum dilatatum Poir./ Novilhos	1,05a**	1,05a**	7,4a***	7,4a***	0,41a	0,31a	Bungenstab et al. (2011)

OF: oferta da forragem; TL: taxa de lotação; GMD: ganho médio diário; PC: peso corporal; *Integração lavoura-pecuária [*Glycine max* (L.) Merr. ou milho *Zea mays* L. + *Lolium multiflorum* Lam.]; **kg MS/kg PC; ***novilhos/ha.

Médias seguidas por letras iguais, nas linhas, em cada variável (OF, TL e GMD), não apresentam diferenças significativas entre elas (P<0,05).

Calagem e adubação

A falta ou mínima reposição de nutrientes do solo estão entre as principais causas de degradação de pastagens no Brasil e no mundo. Plantas forrageiras tropicais podem ser muito exigentes em fertilidade do solo e, portanto, remover elevada quantidade de nutrientes do sistema. O manejo da fertilidade do solo visa garantir produtividade, persistência e perenidade em longo prazo em pastagens e capineiras (Costa et al., 2020; Silva et al., 2018). A maioria dos solos brasileiros é pobre em matéria orgânica e fósforo, bem como tendem a acidez, com elevada saturação por alumínio trocável (Al^{3+}), que reduz drasticamente a disponibilidade de nutrientes e exige correção de acidez (Costa et al., 2021). Neste cenário, as práticas mais comuns para correção e adubação de solos no Brasil são: (i) *amostragem e análise química*

do solo; (ii) *calagem, gessagem e/ou fosfatagem*; e (iii) *adubações nitrogenadas, potássicas e fosfatadas* (Freire et al., 2013).

A amostragem do solo é a etapa inicial para garantir estabelecimento adequado de plantas forrageiras, e passa por decisões de época e áreas a serem amostradas, além do número de amostras simples e profundidade de coleta. De maneira geral, recomenda-se realizá-la no período seco do ano, a 20 cm de profundidade (até 40 cm para leguminosas arbóreas), de 10 a 20 amostras simples por hectare (quanto mais heterogênea for a área, maior deverá ser a amostragem), as quais devem ser homogeneizadas e retirada uma amostra composta representativa para envio para o laboratório.

Calagem, gessagem e fosfatagem são práticas de manejo geralmente realizadas após a obtenção da análise química do solo, semanas (entre 4 e 12) antes da semeadura/plantio da espécie forrageira (Portz et al., 2013).

A gessagem é capaz de reduzir parcialmente a saturação por alumínio (Al^{3+}), apenas em camadas superficiais, mas sem efeito direto no pH do solo, bem como aumentar a disponibilidade de enxofre (S). A fosfatagem consiste na aplicação de fontes de P pouco solúveis e de lenta liberação no solo, o qual atua nas respostas produtivas das plantas, sobretudo no desenvolvimento de perfilhos e do sistema radicular. Além disso, também é fundamental na síntese de ATP (fotossíntese) e na formação de proteínas e DNA (Costa et al., 2021).

Os efeitos benéficos da aplicação dessas práticas já foram testados em diversas espécies forrageiras. Cardoso et al. (2022) avaliaram o efeito do calcário calcítico e dolomítico em pastagens de Grama-pensacola (*Paspalum notatum* Flugge cv. Pensacola), e observaram aumento de 12% no acúmulo de forragem, devido ao efeito residual de três anos pós-aplicação do calcário. Já Cabral et al. (2020) observaram que a aplicação de sulfato de amônio [$(NH_4)_2SO_4$] aumentou a efetividade do fosfato de rocha sobre o Capim-xaraés [*Urochloa brizantha* (A. Rich.) cv. Xaraés], com incremento de 72% no acúmulo de forragem. Segundo os autores, o pH do solo foi reduzido pelo sulfato de amônio, aumentando assim a solubilidade do P presente no fosfato de rocha.

As adubações nitrogenadas, fosfatadas e potássicas também devem ser práticas de manejo comuns no cultivo de plantas forrageiras. As adubações potássica e fosfatada (com fontes solúveis) geralmente ocorrem no momento da semeadura/plantio, enquanto a nitrogenada ocorre após o crescimento inicial da planta, sobre a superfície do solo. O nitrogênio (N) é constituinte de proteínas, coenzimas, fitormônios e clorofilas, com grande participação nos processos de respiração e fotossíntese (Marschner, 2012), além de ser o principal responsável pela elevação

da taxa de crescimento das plantas. Como exemplo, pode-se citar o trabalho de Costa et al. (2020), que demonstrou que o Capim-Mombaça (*Megathyrsus maximus* Jacq. cv. Mombaça) removeu 260 kg N/ha/ano do solo para manter um acúmulo de forragem de 30 t/ha/ano.

O P, como mencionado anteriormente, relaciona-se com a formação do sistema radicular. Já o K é um nutriente crucial para a fotossíntese, pois é responsável pelo controle de abertura e fechamento estomático, sendo importante na regulação das trocas gasosas (absorção de CO_2 e perda de vapor de água) entre a planta e o ambiente e síntese de algumas proteínas (Philp et al., 2021).

Novas tecnologias de fertilização do solo têm sido desenvolvidas e utilizadas para produção de forragem, como a fertirrigação, o uso de adubos revestidos por polímeros ou fertilizantes líquidos. Silva et al. (2018) avaliaram o acúmulo de forragem do Capim-Massai (*M. maximus* cv. Massai) sob fertilização nitrogenada com ureia comum e ureia revestida (de liberação controlada) como fontes. Os autores reportaram maiores teores de proteína bruta (PB) sob adubação com ureia revestida (114 g/kg MS) do que sob adubação com ureia comum (85 g/kg MS), além de maior eficiência no uso de nitrogênio pelas plantas. Estudos sobre fontes menos solúveis e voláteis de N são importantes, pois as perdas são consideráveis se a aplicação ocorrer em solo muito seco (volatilização) ou em solos encharcados (lixiviação) (Costa et al., 2020; Dubeux Jr. & Sollenberger, 2020).

O manejo de fertilidade do solo também pode contribuir no reestabelecimento e enriquecimento de pastagens naturais. Oliveira Neto et al. (2018) enriqueceram **áreas** de Caatinga com Capim-buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) e capim-corrente (*Urochloa mosambicensis* Hack.), aplicando doses de 0, 50 e 100 kg $P_2O_{5/}$ha de em um processo de pousio de dois anos. Os autores reportaram que a dose de 100 kg P_2O_5/ha, utilizando superfosfato triplo como fonte, elevou a massa de forragem de 2,4 para 8,0 t MS/ha, além de ter aumentado a participação do Capim-buffel na composição botânica dos pastos em 74%.

Diferentes fontes de "NPK" já foram utilizadas em pastagens, capineiras e bancos forrageiros, e vastamente descritas em literatura. Todo este avanço veio da necessidade de reduzir o risco de degradação e manter produtividade e persistência dos sistemas de produção de forragem, em longo prazo (Pereira et al., 2022).

Conservação de forragem

A produtividade de pastos e capineiras não são constantes ao longo do ano, devido à sazonalidade climática. Assim, a conservação de forragem, por meio da desidratação (fenação) e/ou fermentação anaeróbica (ensilagem) assume papel importante na tentativa de manutenção da produção animal em períodos de escassez de forragem.

Apesar da relevante importância no sistema produtivo, atenção especial merece ser dada aos custos de produção do feno e da silagem, visto que, ambos os processos de produção são laboriosos e, dependendo da quantidade de material a ser conservado, necessitam de maquinários específicos, o que, normalmente, pode elevar consideravelmente os custos.

Ensilagem

A ensilagem é realizada mediante fermentação anaeróbia do material vegetal. As características desejáveis que as plantas devem apresentar para ser ensiladas, além do elevado potencial produtivo, são conteúdos de MS entre 30 e 40% e de carboidratos solúveis acima de 16% da MS total. Muitas espécies de forrageiras podem ser ensiladas (Figura 1), porém o Milho (*Zea mays* L.) e o Sorgo (*Sorghum bicolor* L.), pelo atendimento natural das premissas mencionadas, são as culturas mais ensiladas tradicionalmente, porém outras plantas apresentam bom potencial, tais como o Capim-elefante (*Cenchrus purpureus* Schum.) (Lemos et al., 2020; Costa et al., 2022). Não apenas o Capim-elefante, mas as gramíneas forrageiras, de maneira geral, dificilmente atendem aos valores de MS e carboidratos solúveis mencionados, o que leva, normalmente, a necessidade de uso de aditivos ricos em MS e açúcares misturados à forragem a ser ensilada.

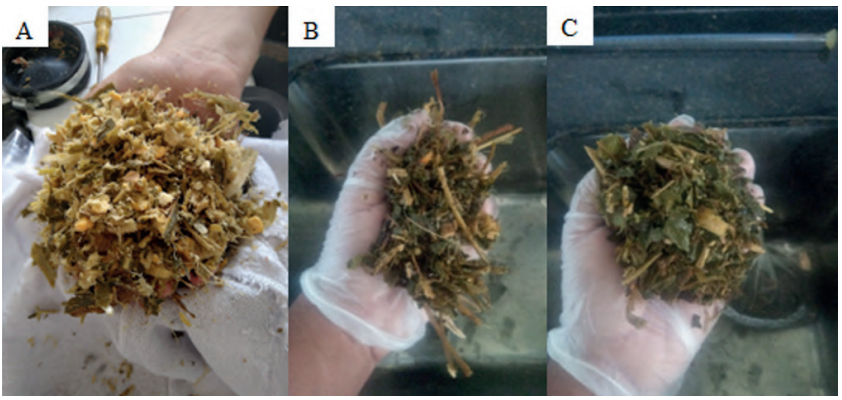

Figura 1. A. Silagem de Milho (*Zea mays* L.). B. Silagem de Gliricídia [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp] e C. Silagem de Maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii* Pax & K. Hoffm.).

As etapas a serem seguidas no processo da ensilagem são: (i) *colheita e picagem da forragem*; (ii) *transporte*; (iii) *enchimento do silo*; (iv) *compactação*; (v) *vedação* do silo e (vi) *retirada da silagem para fornecimento* (Reis et al., 2013). Na colheita, é importante verificar o teor de umidade da forragem, sendo necessário, no mínimo, 25% de MS, visando fermentação adequada (Borreani et al., 2018). Recomenda-se que o material seja picado em partículas de 2 a 3 cm, para proporcionar boa compactação e garantir a função da fibra efetiva da silagem, permitindo que o volumoso mantenha motilidade ruminal e evite timpanismo ou acidose (Bernardes et al., 2018; Wang et al., 2012). As etapas de transporte, enchimento, compactação e vedação do silo não devem ultrapassar 4 dias, visando obtenção de menores valores possíveis de perdas de valor nutritivo e por fermentações indesejáveis (Daniel et al., 2019). Outro fator relevante é a densidade da silagem, a qual deve estar acima de 500 kg matéria natural/m^3 de silo.

Podemos citar como indicativos de qualidade da silagem (valor nutritivo, consumo e processo fermentativo) variáveis físicas e químicas, dentre as quais a coloração verde oliva, odor adocicado, podendo ser levemente avinagrado, temperatura próxima a do ambiente, elevado grau de compactação, pH entre 3,8 e 4,2, teor de nitrogênio amoniacal (N-NH_3) abaixo de 0,5% da MS e teor de ácido lático acima de 3% da MS.

A qualidade da silagem deve ser interpretada pelo conjunto dos parâmetros nutricionais e fermentativos, e não de forma isolada. Por exemplo, a ensilagem de leguminosas forrageiras foi por muito tempo condenada devido ao elevado poder

tampão que, em teoria, limita a redução do pH durante o processo fermentativo. Entretanto, Lemos et al. (2021) observaram maior recuperação de MS na silagem de capim-elefante misturado com a leguminosa Cunhã (791 g/kg), do que na silagem da gramínea sem a leguminosa (740 g/kg). Os autores apontaram um maior coeficiente de fermentação na forragem misturada de capim-elefante e Cunhã, do que na gramínea sem a leguminosa, mesmo com uma maior capacidade tampão da Cunhã.

A inclusão de aditivos na ensilagem de plantas forrageiras tropicais tem aumentado nos últimos anos. Esses aditivos podem ser absorventes de umidade (Ex., fubá de milho, farelo de trigo), inoculantes microbianos, enzimas fibrolíticas (Ex. xilanase), ou mesmo produtos químicos (Ex. ácido fórmico). O uso de absorventes de umidade tem como objetivo elevar o teor de MS, enquanto inoculantes microbianos são utilizados para aumentar a população de bactérias produtoras de ácido lático. Já enzimas fibrolíticas e aditivos químicos são aplicados para aumentar a digestibilidade das frações fibrosas (Muck et al., 2018).

Fenação

A fenação se dá pela desidratação da forragem colhida. Da mesma forma mencionada para a ensilagem, algumas características são desejáveis nas plantas a serem fenadas tais como, elevada relação folha/colmo, além de colmos e cutícula pouco espessos.

Normalmente, os procedimentos da fenação são: (i) *corte ou ceifa*; (ii) *cura ou desidratação*; (iii) *enfardamento* e (iv) *transporte ou armazenamento*. O momento do corte é o mesmo para a forragem *in natura*, quando deve-se buscar o equilíbrio entre quantidade e qualidade da forragem. A etapa da secagem pode ser considerada a mais importante do processo, a qual deve ocorrer até a forragem obter, de maneira uniforme, teor de MS entre 10 e 20%, o chamado "ponto de feno". Durante a secagem, é fundamental a realização de espalhamento e revolvimento da forragem, visando a uniformidade em toda a forragem (Neres et al., 2014). Uma prática para identificar o ponto de feno, é torcer o material. Caso ele resista à torção e volte à condição original, está no ponto ideal. Se o material "quebrar", está seco demais, passou do ponto e, por fim, caso o material não resista à torção, ele ainda está úmido demais (Nascimento et al., 2022), necessita permanecer com o revolvimento e secagem. O armazenamento do feno deve ocorrem em locais arejados e livres do contato com umidade (Reis et al., 2013).

Podemos citar como indicativos de qualidade do feno coloração esverdeada (tom mais claro que a forragem fresca), maciez, elevada proporção de folhas e ausência de odor fermentativo.

Assim como a silagem, um bom feno tem valor nutricional próximo ao da forragem *in natura*, com poucas perdas de carboidratos e proteínas (Pasqualotto et al., 2015). Porém, a principal forma de avaliar tanto o feno, como a silagem, é pelo grau de aceitabilidade pelos animais, como também o consumo e desempenho dos mesmos (Kung et al., 2018).

Suplementação a pasto

A suplementação a pasto tem como objetivo complementar a dieta dos animais, considerando a forragem produzida a pasto como base da alimentação (Harper et al., 2019). As principais formas de suplementação são: (i) *volumosa*, com uso de fenos, silagens, pasto diferida, resíduos da agroindústria, etc.; (ii) *energética*, com uso de concentrados energéticos como fubá de milho ou farelo de trigo, ou ainda óleos vegetais e gorduras; (iii) *proteica*, com uso de concentrados proteicos como farelo de soja ou farelo de algodão, ou ainda o uso de ureia na mistura de concentrados; (iv) *mineral*, com uso de sal mineral comercial ou sal elaborado na propriedade; e (v) *múltipla*, quando concentrados energéticos e proteicos são misturados com sais (Ex. sal branco), ureia e sulfato de amônio (Silva et al., 2019b).

Basicamente, os suplementos podem promover três efeitos sobre o consumo da forragem a pasto (Figura 2). Um deles é substitutivo, quando o consumo de forragem a pasto sofre redução (não desejável), em função do suplemento fornecido. Isto é comum com suplementos volumosos de boa qualidade (Ex. feno e silagem) e/ou com concentrados de alto consumo são fornecidos para animais em pastos de baixa qualidade (Poppi et al., 2018). O efeito complementar não reduz e nem aumenta o consumo de forragem a pasto, ele promove o aumento do consumo total da dieta, fato que é comum em dietas balanceadas e em pastos de altos valor nutritivo e consumo voluntário (Silva et al., 2019b). Já o efeito aditivo ocorre quando o suplemento estimula o consumo de forragem a pasto (desejável), fato que é muito comum em animais criados em pastos diferidos consumindo misturas múltiplas (Silva-Marques et al., 2015).

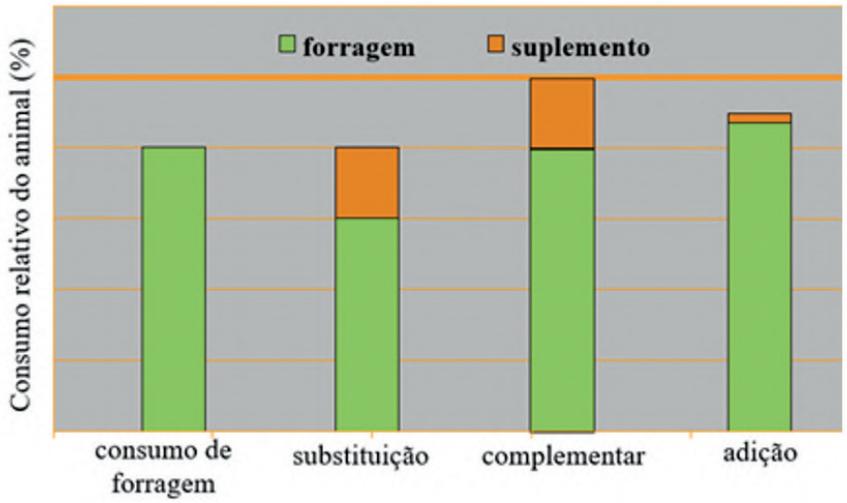

Figura 2. Efeitos de suplementos sobre o consumo voluntário de forragem a pasto.
Fonte: Mieres (1997).

As exigências nutricionais dos animais variam, além das características inerentes ao animal, em relação à época do ano. Nas regiões de clima tropical, nos períodos chuvosos, quando a quantidade de forragem deve ser abundante, geralmente a energia é o principal limitante do desempenho animal (Poppi et al., 2018). Já no período seco, quando a forragem sofre declínio tanto na quantidade, como na qualidade, a proteína geralmente é o nutriente que mais limita o desempenho dos animais (Silva et al., 2019a). Neste sentido, o fornecimento de misturas múltiplas de baixo consumo (0,1% do peso corporal/dia) tem sido capaz de aumentar consumo de forragem em pastos diferidos, proporcionando manutenção do desempenho animal nos períodos secos do ano (Silva et al., 2019a; Silva-Marques et al., 2015).

No caso do diferimento do pasto, apesar de garantir a fonte de volumoso para os animais no período crítico do ano, em contrapartida, há redução no valor nutritivo da forragem acumulada, necessitando, a depender da queda do valor nutritivo e das exigências dos animais, da suplementação com proteína e energia, além de minerais.

Na suplementação a pasto, é importante considerar que os animais são capazes de se adaptar às variações e limitações de nutrientes ao longo do ano, principalmente pelo ganho compensatório. Assim, é possível propor estratégias de suplementação racionais, evitar gastos desnecessários e reduzir custos de produção (Poppi et al., 2018).

As limitações de macro e micronutrientes minerais essenciais (Ex. cálcio e fósforo) também reduzem o desempenho animal. Porém, o consumo excessivo de suplementos minerais geralmente leva a aumento no custo de produção, o que desencoraja a adoção de programas de suplementação mineral (Stewart et al., 2021). No Brasil, nas últimas décadas, a suplementação mineral seletiva tem sido proposta com sucesso, no lugar da aquisição de sais minerais comerciais prontos (Barbosa et al., 2016; Malafaia et al., 2014). Lopes et al. (2018) propuseram uma nova formulação mineral para vacas Nelore, com diminuição de 75 para 12,5 g P/kg de peso corporal. Os autores não verificaram alterações nos parâmetros reprodutivos, mas redução nos custos de produção. A fórmula de 75 g P/kg foi equivalente ao custo de 29 bezerros desmamados, enquanto a fórmula de apenas 12,5 g P/kg, igualou o custo de apenas 5 bezerros desmamados.

Controle de plantas indesejáveis

Planta indesejável é qualquer planta que cresça espontaneamente em um local de atividade humana e que cause prejuízos a esta atividade (Carvalho, 2013), podendo também ser considerado como um vegetal que ocorre onde não é desejado. A possibilidade de disseminação de pragas e doenças por serem potenciais hospedeiras de insetos, nematoides, ácaros, bactérias, vírus, a dificuldade que proporcionam na operacionalização das práticas de manejo na pastagem/capineira, a possibilidade de causarem ferimentos ou a intoxicação de animais e a redução das respostas produtivas e qualitativas dos pastos/capineiras, sobretudo pela competição por água, luz e nutrientes com a(s) espécie(s) desejável(is) são alguns dos principais aspectos negativos decorrentes da presença de plantas indesejáveis nas pastagens/capineiras. Estas plantas são também consideradas como uma das principais causas de degradação de pastagens no Brasil, havendo no país alto grau de pastos degradados ou em processo de degradação.

Na Figura 3 é ilustrada de um lado (à esquerda) uma área de pastagem degradada por meio da infestação de plantas indesejáveis (invasoras), enquanto à direita representa a área reformada. O conjunto de impactos negativos promovidos por essas plantas nas pastagens/capineiras levam a prejuízos de ordem econômica, influenciando de forma considerável a taxa de lotação das pastagens e a sua capacidade de geração de produtos de origem animal, promove a elevação nos custos de produção e diminui o valor da terra.

Figura 3. Pastagem degradada pela infestação de plantas daninhas (à esquerda) e pastagem reformada (à direita).

O controle da intensidade e frequência de colheita é fundamental na manutenção da competitividade das plantas cultivadas com as indesejáveis. No caso das pastagens, a utilização de taxa de lotação adequada a quantidade de forragem disponível, visando evitar o superpastejo, permite reduzir o risco da preferência exercida pelos animais em relação às espécies forrageiras poder alterar o grau de equilíbrio competitivo nas pastagens.

De acordo com Victoria Filho et al. (2014), algumas das principais espécies de plantas indesejáveis em pastagens no Brasil são: Arranha-gato (*Acacia plumosa* Lowe), Assa-peixe-branco (*Vernonia polianthes* Less.), Ciganinha (*Memora peregrina* (Miers) Sandwith, fedegoso [*Senna occidentalis* (L.)], Jurubeba (*Solanum paniculatum* L.), Malícia (*Mimosa invisa* Mart.), Guanxuma (*Sida* spp). Em adição, Haraguchi (2003) indicam o Cafezinho ou Erva-de-rato (*Palicourea marcgravii* St. Hil), Flor-das-almas (*Senecio brasiliensis* Less.), Timbó (*Ateleia glazioviana* Baill.) e o Chumbinho (*Lantana spp.*), como algumas das principais plantas tóxicas em pastagens no país. As plantas tóxicas, quando ingeridas, causam danos à saúde, podendo levar o animal a óbito.

A ocorrência de plantas indesejáveis é bastante variada nas distintas regiões do país, bem como nos diferentes sistemas de produção. O entendimento da população e da biologia das espécies dessas plantas é importante para a recomendação de práticas de manejo e tratos culturais que proporcionem maior eficiência no controle.

Um conjunto de medidas pode ser utilizado para o controle dessas plantas em pastagens/capineiras, incluindo práticas preventivas, culturais, mecânicas (ou físicas) e químicas, as quais também podem diferir em função das características das próprias plantas indesejáveis, do tamanho da área e do nível tecnológico adotado.

O controle preventivo consiste em medidas que objetivam evitar ou diminuir a entrada de sementes ou material propagativo de plantas indesejáveis na propriedade. Máquinas e implementos agrícolas, animais e adubos orgânicos (esterco) oriundos de outras áreas podem ser fontes. Além disto, é de grande importância a utilização de sementes de plantas forrageiras com elevado valor cultural.

No controle cultural, a utilização de plantas forrageiras com maior capacidade de competição é de grande importância, o que corresponde às espécies ou cultivares testadas nas condições ambientais de uma dada localidade. Após a escolha da espécie a ser plantada, no processo do estabelecimento da cultura deve-se tomar diversos cuidados, desde ao preparo (ou não) do solo, aplicação de corretivos e fertilizantes, método de plantio, taxa de semeadura, espaçamento, dentre outros. O uso de plantas de cobertura (cobertura verde), a cobertura morta (palha ou resíduo vegetal) e a rotação de culturas também são medidas importantes no controle cultural.

Em relação ao controle mecânico, a roçada é a técnica mais empregada. Entretanto, é importante destacar que o uso exclusivo de roçadas, aliado ao manejo inadequado, proporciona gradativo aumento da infestação, pois mantém o sistema radicular das plantas indesejáveis ativo.

O controle químico corresponde ao uso de herbicidas, o qual não deve prejudicar o crescimento e a produção da planta forrageira. Trata-se de um método rápido e que demanda menos mão-de-obra, em relação aos demais tipos de controle, porém requer muita atenção no manuseio e utilização, pois são produtos químicos com forte risco a saúde humana e animal.

Especificamente na exploração de capineiras, em sua maioria no Brasil, de Capim elefante, uma das principais dificuldades enfrentadas pelos produtores é o controle de espécies estoloníferas indesejáveis, a exemplo do Capim-braquiária. Mello et al. (2010) mencionam controle extremamente eficiente da braquiária em áreas de capim elefante, por meio da aplicação de glicina substituída (Glifosato), na dosagem de 4 litros/ha (Figura 4). A aplicação do herbicida deve ser realizada logo após a colheita do capim elefante, a qual deve ser realizada rente ao solo, visando eliminar completamente toda a folhagem do mesmo.

Na utilização de herbicidas, é fundamental a identificação da comunidade infestante, bem como a identificação de quais espécies devem ser controladas, visando definir o(s) herbicida(s) e o método de aplicação. Pereira et al. (2011) mencionam os herbicidas registrados no MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) para a utilização em pastagens/capineiras, alertando para a utilização apenas de produtos registrados. Por meio do Agrofit (https://agrofit.agricultura.gov.

br) é possível verificar os herbicidas comerciais registrados no MAPA, seus respectivos ingredientes ativos e as plantas que controlam.

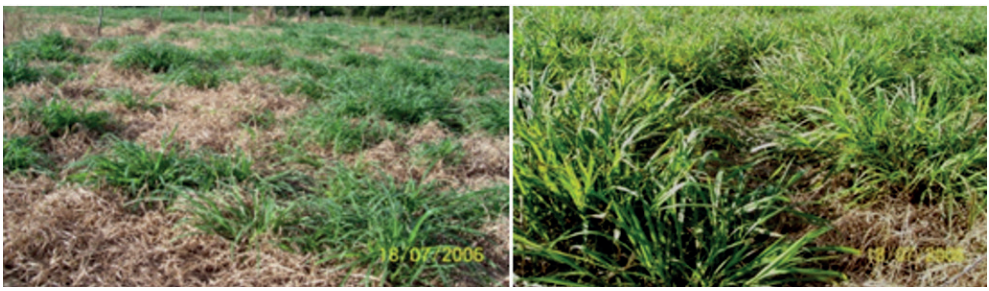

Figura 4. Rebrota do capim-elefante após corte rente ao solo e aplicação de glicina substituída (Glifosato), na dosagem de 4 L do produto comercial/ha, Itambé-PE.

Fonte: Mello et al. (2010).

Apesar da disponibilidade de diversas formas de controle, como as já mencionadas, os resultados mais eficientes ocorrem quando se utiliza do chamado manejo integrado, que se trata da utilização associada de mais de uma prática no controle das indesejáveis, realizando medidas preventivas com os controles a curto (mecânico, químico) e a longo prazos (cultural), a fim de otimizar o controle com o menor custo possível, bem como reduzir o impacto ambiental causado pelo uso excessivo de herbicidas e aumentar a segurança do trabalhador e do consumidor (Carvalho, 2013).

Controle de pragas e doenças

O estabelecimento de práticas agrícolas e fitossanitárias, a fim de prevenir ou minimizar os danos provocados por pragas e doenças é um fator decisivo no manejo das pastagens/capineiras, sendo de grande importância o conhecimento dos agentes causadores e dos principais métodos disponíveis para a prevenção e controle. São inúmeras as pragas e doenças que atacam plantas forrageiras, porém, abordaremos nesse capítulo as mais importantes em termos de ocorrência e prejuízo financeiro aos sistemas de produção animal.

Pragas

Cigarrinhas-das-pastagens

Dentre as cigarrinhas, as espécies de maior importância para as pastagens de gramíneas forrageiras, no Brasil, são *Deois incompleta* (Walker), mais importante na região norte, *Notozulia entreriana* (Berg), *Deois schach* (Fabricius) e *Aeneolamia selecta* (Walker), encontradas na região Nordeste, e a espécie *Deois flavopicta* (Stal) que, com *N. entreriana*, predominam nos Estados do Brasil Central, norte do Paraná e na região Leste (Valério, 2009). Já espécies de *Mahanarva* são comumente associadas com gramíneas de grande porte, como o capim-elefante e a cana-de-açúcar e, embora não típicas de pastagens, tem causado danos em importantes espécies de gramíneas forrageiras de pastagens como a *Urochloa brizantha* (syn. *Brachiaria brizantha*) cv. Marandu.

As cigarrinhas-das-pastagens são insetos com ocorrência associada ao período chuvoso e à medida que se alimentam, produzem e excretam uma espuma característica dos cercopídeos, proporcionando proteção para a falta de umidade e de inimigos naturais. A sucção de seiva, principalmente do xilema, por parte de ninfas e adultos é acompanhada da injeção de saliva tóxica, a qual pode causar fitotoxemia e interferir na atividade fotossintética da planta, levando a pontos ou listras cloróticas ou a listras ou faixas necróticas que podem abranger toda a área foliar, em quadros mais severos. No caso das cigarrinhas "típicas de pastagens", os adultos são os que causam maiores danos. Já, para espécies de *Mahanarva* os prejuízos são decorrentes tanto do ataque dos adultos quanto das ninfas.

A utilização de cultivares resistentes consiste em um importante método de controle. Enquanto a *Urochloa decumbens* (syn. *Brachiaria decumbens*) e *B. ruziziensis* (syn. *Urochloa ruziziensis*) são suscetíveis, a *Urochloa brizantha* é resistente às cigarrinhas típicas de pastagem, mas não à *Mahanarva*. A cultivar BRS Ipyporã (híbrido de *U. brizantha* e *U. ruziziensis*), por sua vez é resistente às espécies típicas de pastagens e à *M. fimbriolata* e *M. spectabilis*. Em adição, diversas cultivares de *P. maximum* (syn. *Megathyrsus maximum*) e *Andropogon gayanus* são resistentes (Torres, 2022).

O manejo da altura do dossel forrageiro e do intervalo de pastejo e o ajuste da taxa de lotação, o cultivo consorciado de gramíneas e leguminosas considerando que as cigarrinhas se alimentam das gramíneas, a diversificação de espécies forrageiras nas pastagens, a correção e a adubação são práticas culturais que podem contribuir no controle da praga. Por outro lado, o acúmulo excessivo de palhada acima do nível do solo é associado ao aumento nos níveis populacionais de cigarrinhas.

A utilização de produtos à base do fungo *Metarhizium anisopliae* como controle biológico tem sido eficiente e possui como pontos positivos em relação aos inseticidas químicos não haver a necessidade de retirar os animais da pastagem e proporcionar menor impacto sobre os inimigos naturais. Em relação ao controle químico, o ponto chave é o momento da aplicação do inseticida, o qual deve ser no início do aparecimento dos adultos, visando maior eficiência de controle. Assim como mencionado na aplicação de herbicida, este método de controle deve ser acompanhado de bastante atenção, em função dos riscos toxicológicos para os aplicadores, bem como necessidade de intervalo de segurança e de reentrada na área após a aplicação (período de carência). O histórico de ocorrência das cigarrinhas-das-pastagens na área e o monitoramento frequente são importantes para determinar o momento e o método de controle a ser utilizado.

Valério (2009) recomenda no manejo integrado das cigarrinhas-das-pastagens a utilização de cultivares resistentes, associado ao adequado manejo do pastejo e, por fim, sugere utilizar pastagens consorciadas de gramíneas com leguminosas.

Lagartas

As lagartas são consideradas como pragas ocasionais em pastagens, podendo causar danos expressivos especialmente na fase de implantação. A *Mocis latipes*, conhecida como Curuquerê-dos-capinzais, é tida como a mais importante em pastagens, porém também infesta de forma importante Milho, Trigo, Arroz e Milheto, além de Alfafa, Feijão-caupi, Soja e Algodão. Os adultos são mariposas com asas acinzentadas, com longevidade em torno de 10 dias. A ocorrência e os danos causados estão mais associados a regiões mais quentes (temperatura em torno de 30 °C), especialmente nas épocas de maior umidade.

A *Spodoptera frugiperda*, conhecida como lagarta-militar ou lagarta-do-cartucho-do-milho alimenta-se de mais de 350 espécies de plantas, como milho, arroz, sorgo, trigo e algodão, dentre outras, assumindo maior importância na exploração de capineiras.

No controle de *M. latipes* e *S. frugiperda*, o monitoramento populacional nos pastos/capineiras em formação merecem atenção especial, uma vez que podem sofrer muito mais com os danos provocados pelas lagartas em comparação com as áreas já estabelecidas.

O controle pode ser realizado por meio de inseticidas químicos, recomendados para pastagens, considerando-se o período de carência e de reentrada de animais nas áreas, o que varia de acordo com o produto. Atualmente, existe apenas um

inseticida organossintético registrado no MAPA para controle de *S. frugiperda* e *M. latipes* em pastagem.

O uso de produtos biológicos é indicado sendo aqueles à base de *Bacillus thuringiensis*, um dos mais efetivos. Nesse caso não é necessária a retirada dos animais da área. No entanto, deve-se atentar ao fato de existir diferença na suscetibilidade de *S. frujiperda* e *M. latipes* em relação às cepas utilizadas nas formulações comerciais desses produtos (Pereira et al., 2011).

Formigas

As formigas cortadeiras, representadas pelos gêneros *Atta* (saúvas) e *Acromyrmex* (quenquéns) são consideradas como importantes pragas em pastagens, especialmente em áreas em implantação. De acordo com Torres (2022), há seletividade pelas formigas em relação ao material vegetal que cortam, havendo relatos de preferência por gramíneas como *A. gayanus*, *Hyparrhenia rufa* (Ness) Stapf, *Pennisetum clandestinum* Hochst. & Chiov. e *P. maximum*, enquanto outras espécies podem ser menos forrageadas como a *B. decumbens*, *B. humidicola*, *B. brizantha* e *Melinis minutiflora* P. Beauv.

O principal método de controle é efetuado com a utilização de iscas formicidas granuladas e microgranuladas, a depender da espécie de formiga. A termonebulização é outra forma de controle das formigas, embora seu uso ainda seja bastante restrito, a qual consiste em introduzir no ninho o inseticida líquido transformado em fumaça, utilizando equipamento termonebulizador, sendo utilizada principalmente em grandes áreas e com número elevado de formigueiros.

O controle mecânico ou a destruição direta pode ser feita em ninhos jovens com até quatro meses de idade. O controle por meio de aração ou gradagem são considerados de elevado custo e reduzida eficiência. O controle microbiano com os fungos *B. bassiana* e *M. anisopliae* pode ser uma opção, pois têm potencial para combater algumas espécies de *Atta* e *Acromyrmex*.

Cupins

Os cupins também são pragas relevantes em pastagens. Os mais importantes são a espécie *Cornitermes cumulans*, conhecido como cupins de montículo, e os cupins do gênero *Syntermes* spp. Tanto o controle do cupim de montículo quanto do *Syntermes* spp. é feito por meio da introdução de inseticidas químicos no ninho, por meio de perfurações, em que os principais ingredientes ativos usados para o controle de cupins em pastagens são fipronil, tiametoxam e lambda-cialotrina. Além disto, o

uso de inseticida associado aos fungos entomopatogênicos *M. anisopliae* e *B. bassiana* ou o uso exclusivo destes produtos biológicos promovem bons resultados. Outra forma utilizada para o controle são os implementos (broca cupinzeira, demolidora de cupins), a fim de promover a destruição mecânica do cupinzeiro, os quais podem ter alta eficiência no controle quando se consegue a completa introdução do implemento no solo.

Outras pragas são relatadas como relevantes nas pastagens e em áreas de cultivo de plantas forrageiras, tais como cochonilhas, o percevejo castanho, percevejo das gramíneas, coró-das-pastagens (*Diloboderus abderus*), gafanhotos, paquinhas, mosca da grama bermuda, percevejo roçador e pulgões. Na palma forrageira, cultura de grande importância, sobretudo na região semiárida do Brasil, a cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell) e a cochonilha-de-escama (*Diaspis echinocacti*) são pragas que podem levar a grandes prejuízos nos palmais. Para a cochonilha-do-carmim o principal método de controle é a utilização de cultivares resistentes (Miúda, IPA Sertânia ou Orelha de Elefante Mexicana), havendo também inseticidas sintéticos para o controle químico à base de tiametoxam + lambdaCialotrina, tiametoxam e imidacloprido + bifentrina. Já no controle da cochonilha-de-escama podem-se utilizar soluções à base de óleo vegetal ou mineral, além sempre utilizar cladódios livres de sinais da praga para o plantio.

Doenças

Mortalidade do Capim-marandu

A chamada mortalidade do Capim-marandu (MCM) deixa as plantas com folhas amareladas, apresentando aspecto de feno. Esta condição é manifestada principalmente durante o período chuvoso, especialmente nas áreas com drenagem deficiente. Apesar da causa da doença não estar completamente elucidada, existem indícios do envolvimento de patógenos de solo pertencentes aos gêneros *Pythium*, *Rhizoctonia* e *Fusarium*, associados ou não a *Pratylenchus* spp. Entretanto, esta doença pode também estar relacionada a alterações fisiológicas e morfológicas no capim, quando exposto a períodos de excesso de água no solo, tornando a planta mais susceptível (Dias-Filho & Andrade, 2005).

A diversificação dos pastos, sobretudo nas áreas com histórico de ocorrência desta doença, com a utilização de espécies forrageiras mais tolerantes a elevada

umidade de solo, a escolha da área para a formação dos pastos, o uso de sementes de boa qualidade e o adequado manejo do pastejo são importantes práticas preventivas.

Mela-das-sementes

Em pastagens, a semente tem papel importante na disseminação de patógenos, pois muitas doenças encontradas têm seus respectivos patógenos introduzidos por sementes contaminadas.

Uma importante doença que ocorre em sementes de Capins-braquiária (*Urochloa* spp.), especialmente *U. brizantha* cv. Xaraés, como também em *Panicum* (*Megathyrsus*) é a mela-das-sementes, causada pelo fungo *Claviceps sulcata*. Esta doença se manifesta durante o estádio de florescimento e maturação das sementes. A mela leva a reduções consideráveis na produtividade e na qualidade das sementes, constituindo-se também em barreira fitossanitária para as exportações brasileiras de sementes.

Considerando que cultivares resistentes à esta doença não estão disponíveis comercialmente, há a necessidade de utilização de medidas preventivas, tais como: uso de sementes livres da doença e tratadas com fungicidas, plantio em áreas sem histórico da doença, o plantio para obtenção de sementes em áreas isoladas de áreas de pastagens, a eliminação de plantas hospedeiras das bordaduras do campo de produção e a redução do trânsito de pessoas e de máquinas dentro do campo de produção após o início do florescimento (Verzignassi et al., 2003).

Diversas outras doenças, a depender da espécie forrageira e da região do país, tem ocorrência nas plantas forrageiras, seja na parte vegetativa ou nas sementes. Citando algumas delas: o carvão da braquiária, causada pelo fungo *Ustilago operta*; a cárie-do-sino, em *M. maximum*, causada pelo fungo *Tilletia ayresii*; a ferrugem da *Brachiaria*, causada pelo fungo *Puccinia Levis*; a mancha foliar de *Bipolaris maydis*; a antracnose no *Stylosanthes*, causada pelo fungo *Colletotrichum gloeosporioides*, além de um conjunto de outras doenças de menor impacto econômico como a brusone, causada por *Magnaporthe grisea*; o mofo branco e a fusariose em *Stylosanthes* sp., causados, respectivamente, por *Sclerotinia sclerotiorum* e *Fusarium chlamydosporum* e a cercosporiose (*Cercospora fusimaculans*).

De modo geral, o controle de doenças e pragas em pastagens/capineiras deve estar inserido no contexto de manejo integrado, considerando medidas como a diversificação de espécies/cultivares forrageiras resistentes e a utilização de sementes sadias. O manejo preventivo e o monitoramento frequente da condição das pastagens/capineiras e das sementes são de grande importância para a identificação

precoce da ocorrência, o que contribui, sobremaneira, para a maior eficiência no controle.

Irrigação

A irrigação consiste no fornecimento controlado de água, visando evitar o estresse da planta por baixa umidade no solo. No Brasil, é uma ferramenta utilizada nas diferentes regiões e para as mais diversas espécies forrageiras. A depender da latitude da região onde será utilizada, o principal objetivo do seu uso pode variar, sendo aumentar a produtividade de forragem no período favorável (latitudes mais altas), por meio da eliminação de veranicos, como também pode ser manter a produtividade de forragem durante o período seco (em latitudes mais baixas, onde a temperatura e a luminosidade não sofrem tantas alterações no período seco). Adicionalmente, as condições edáficas (sobretudo fertilidade e profundidade de solo), as espécies forrageiras e os aspectos relacionados ao manejo da irrigação também influenciam as respostas das plantas forrageiras a esta técnica. O aumento na exportação de nutrientes do solo oriundo da maior produtividade do pasto/capineira sob irrigação, aumenta a necessidade de correção e adubação de reposição. Em outras palavras, a correção/adubação do solo é prática obrigatória em sistemas irrigados.

Para plantas forrageiras tropicais, a temperatura-base inferior situa-se entre 12 e 16 ºC, de acordo com a forrageira considerada, e temperaturas menores do que essas ocorrem durante o inverno em diversas regiões do país, o que limita o crescimento da planta e, portanto, tornando a irrigação sem efeito na taxa de crescimento da planta. Da mesma forma, em regiões onde o fotoperíodo sofre redução acentuada no mesmo período da queda da temperatura, a exemplo das regiões sul e sudeste do Brasil, a irrigação tem seu potencial de uso restrito.

Diversos são os sistemas de irrigação disponíveis, tais como o gotejamento e micro aspersão, o canhão hidráulico, a aspersão convencional, autopropelido e pivô central. Entretanto, a aspersão e o pivô central são os mais predominantemente utilizados em sistemas de produção animal. A economia de mão de obra é a principal vantagem do pivô central, pois o sistema retorna ao ponto inicial, após completar uma aplicação. Além disso, esse sistema oferece adequada uniformidade de aplicação, quando bem dimensionado e manejado.

A aspersão semifixa ou fixa tem como vantagens a facilidade de ajuste a diversos tipos de topografias, baixo custo de implantação, menor consumo de energia elétrica e a facilidade de operação e manutenção e, como desvantagens, a exigência

de abertura de grande número de valetas e a necessidade de se proteger os tubos que elevam os aspersores acima do nível do solo, quando a área a ser irrigada é uma pastagem, a fim de evitar o contato dos animais.

Vários fatores devem ser analisados antes de instalar um sistema de irrigação. O primeiro deles trata-se da disponibilidade e qualidade da água. Considerando os custos do sistema, o nível de produtividade da cultura a ser irrigada deve ser outro fator a ser levado em consideração. A irrigação deve promover elevada produtividade do sistema, visando otimização da relação benefício x custo.

Além do fornecimento de água suplementar, os sistemas de irrigação podem contribuir em outros aspectos no sistema de produção, adicionais ao aporte de água, como na aplicação de fertilizantes (fertirrigação), produtos químicos (quimigação) e produtos para o controle biológico (biorrigação). A adubação realizada por meio da fert possibilita a redução dos custos de aplicação de fertilizantes, reduz a movimentação de máquinas agrícolas nas áreas e proporciona maior uniformidade de aplicação dos fertilizantes.

Na instalação de um sistema de irrigação devem-se considerar as variáveis que influenciam os custos e as receitas, verificando-se se o aumento na produção e qualidade da forragem compensará o investimento para implantar o sistema. O investimento em irrigação tem se justificado mais facilmente em locais de clima quente e seco, com temperaturas mínimas superiores à temperatura-base inferior das forrageiras tropicais.

Considerações finais

A base da alimentação animal dos sistemas de exploração pecuária reside na produção de volumosos. No Brasil, a grande maioria dessa produção é realizada pela exploração de gramíneas forrageiras tropicais, sobretudo do gênero *Brachiaria* sp. (Syn. *Uroclhoa* sp.) e cultivares de *Panicum maximum* Jacq. (Syn. *Megathyrsus maximus*), na formação de pastagens, bem como do Capim-elefante, na exploração de capineiras. Outras culturas forrageiras também são exploradas visando à suplementação alimentar do rebanho em diferentes épocas do ano e planos nutricionais, tais como o Milho, Sorgo, Cana de açúcar, Palma forrageira, Soja, dentre outras.

Os sistemas de produção se diferenciam na base alimentar em três possíveis tipos: exploração primordial de pastagens, de capineiras ou de ambos. Independentemente do tipo de sistema, diversos pontos devem ser levados em

consideração para a produção de volumosos de forma eficiente. Esses pontos vão desde antes do estabelecimento das forrageiras, no plantio e na própria exploração das mesmas.

Considerando que as escolhas das espécies a serem cultivadas e das áreas de plantio foram bem realizadas, o ponto chave para o sucesso do sistema de produção reside no manejo desses volumosos. Nesse capítulo, procurou-se abordar os principais fatores de manejo que devem ser levados em consideração, tendo como principais objetivos a máxima produtividade animal, bem como a persistência dos pastos/capineiras.

Referências

Allen, V.G., Batello, C., Berretta, E.J., Hodgson, J., Kothmann, M., Li, X., McIvor, J., Milne, J., Morris, C., Peeters, A., Sanderson, M., 2011. An international terminology for grazing lands and grazing animals. Grass and Forage Science. Doi: 10.1111/j.1365-2494.2010.00780.x

Alvarenga, C.A.F., Euclides, V.P.B., Montagner, D.B., Sbrissia, A.F., Barbosa, R.A., de Araújo, A.R., 2020. Animal performance and sward characteristics of mombaça guineagrass pastures subjected to two grazing frequencies. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 8, 1–10. Doi: 10.17138/TGFT(8)1-10

Antunes, L.E., Montagner, D.B., Euclides, V.P.B., Taira, C.A.Q., Echeverria, J.R., Nantes, N.N., Orrico Junior, M.A.P., 2022. Intermittent stocking strategies for the management of Marandu palisade grass in the Brazilian Cerrado biome. Grassl Sci 68, 70-77. Doi: 10.1111/grs.12341

Araújo Filho, J.A., Crispim, S.M.A., 2002. Pastoreio combinado de bovinos, caprinos e ovinos em áreas de Caatinga no Nordeste do Brasil. In: I Conferência Virtual Global Sobre Produção Orgânica de Bovinos de Corte. Universidade do Contestado-Embrapa Pantanal, SC, Brasil. p. 1-7.

Barbosa, F.B., Bomjardim, H.A., Helayel, M.J.S.A., Faial, K.C.F., Oliveira, C.M.C., Malafaia, P., Brito, M.F., Barbosa, J.D., 2016. Economic evaluation of three strategies of mineral supplementation for beef cattle in State of Pará, Brazil. Pesquisa Veterinária Brasileira 36, 600–604. Doi: 10.1590/S0100-736X2016000700007

Bernardes, T.F., Daniel, J.L.P., Adesogan, A.T., McAllister, T.A., Drouin, P., Nussio, L.G., Huhtanen, P., Tremblay, G.F., Bélanger, G., Cai, Y., 2018. Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions. J Dairy Sci 101, 4001-4019. Doi: 10.3168/jds.2017-13703

Borreani, G., Tabacco, E., Schmidt, R.J., Holmes, B.J., Muck, R.E., 2018. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. J Dairy Sci 101, 3952–3979. Doi: 10.3168/jds.2017-13837

Briske, D.D., Richards, J.H., 1993. Physiology of Plants Recovering from Defoliation, in: Baker, M.J. (Ed.), Proceedings of the XVII International Grassland Congress. New Zealand Grassland Association, Palmerston North, pp. 85-94.

Bungenstab, E.J., Pereira, A.C., Lin, J.C., Holliman, J.L., Muntifering, R.B., 2011. Productivity, utilization, and nutritive quality of dallisgrass (*Paspalum dilatatum*) as influenced by stocking density and rest period under continuous or rotational stocking. J Anim Sci 89, 571–580. Doi: 10.2527/jas.2010-3102

Cabral, C.E.A., Cabral, C.H.A., Santos, A.R.M., Carvalho, K.S., Bonfim-Silva, E.M., Mattos, J.S., Alves, L.B., Bays, A.P., 2020. Ammonium sulfate enhances the effectiveness of reactive natural phosphate for fertilizing tropical grasses. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 8, 86–92. Doi: 10.17138/tgft(8)86-92

Cândido, M.J.D., Alexandrino, E., Gomide, C.A.M., Gomide, J.A., Pereira, W.E., 2005. Rest period, forage nutritive value and steer performance on *Panicum maximum* cv. Mombaça pasture under intermittent stocking. Revista Brasileira de Zootecnia 34, 1459–1467.

Cardoso, A.S., Silveira, M.L., Kohmann, M.M., Vendramini, J.M.B., Sellers, B., Baldo, A., Sekiya, B.M.S., 2022. Bahiagrass and soil responses to lime sources and application levels. Agron J 114, 3183–3192. Doi: 10.1002/agj2.21191

Carvalho, L.B., 2013. Plantas Daninhas, 1ª Edição. ed. Edição do Autor, Lages-SC. 82p.

Carvalho, W.T.V., Minighin, D.C., Gonçalves, L.C., Villanova, D.F.Q., Mauricio, R.M., Pereira, R.V.G., 2017. Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: Revisão. PUBVET 11, 1036-1045.

Coffey, E.L., Delaby, L., Fitzgerald, S., Galvin, N., Pierce, K.M., Horan, B., 2017. Effect of stocking rate and animal genotype on dry matter intake, milk production, body weight, and body condition score in spring-calving, grass-fed dairy cows. J Dairy Sci 100, 7556–7568. Doi: 10.3168/jds.2017-12672

Costa, C.M., Costa, A.B.G., Theodoro, G.F., Difante, G.S., Gurgel, A.L.C., Santana, J.C.S., Camargo, F.C., Almeida, E.M., 2020. The 4R management for nitrogen fertilization in tropical forage: A review. Aust J Crop Sci 1834-1837. Doi: 10.21475/ajcs.20.14.11.p2646

Costa, E.R., Mello, A.C.L., Guim, A., Costa, S.B.M., Abreu, B.S., Silva, P.H.F., Silva, V.J., Simões Neto, D.E., 2022. Adding corn meal into mixed elephant grass–butterfly pea legume silages

improves nutritive value and dry matter recovery. J Agric Sci 160, 185-193. Doi: 10.1017/S0021859622000284

Costa, K.C.G., Torres, F.E., Kraeski, M.J., Zanuncio, A.S., Benteo, G.L., 2021. Phosphating and Liming in the development of mombasa grass. Research, Society and Development 10, e361101313794. Doi: 10.33448/rsd-v10i13.13794

Daniel, J.L.P., Bernardes, T.F., Jobim, C.C., Schmidt, P., Nussio, L.G., 2019. Production and utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil. Grass and Forage Science 74, 188–200. Doi: 10.1111/gfs.12417

Dias, A.M., Gomes, E.N.O., Ítavo, L.C.V., Aranha, J.A.M., Ítavo, C.C.B.F., Nogueira, É., Da Silva, F.F., Junges, L., 2016. Herbage allowance effects on the characteristics of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu pastures and the production and economic viability of Nellore heifers. Semin Cienc Agrar 37, 2301–2312. Doi: 10.5433/1679-0359.2016v37n4Supl1p2301

Dias-Filho, M.B., Andrade, C.M.S., 2005. Pastagens no ecossistema do Trópico Úmido, in: Simpósios da 42a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Sociedade Brasileira de Zootecnia, Goiânia, pp. 95–104.

Donato, P.E.R., Donato, S.L.R., Silva, J.A., Pires, A.J.V., Rosa, R.C.C., Aquino, A.A., 2016. Nutrition and yield of 'Gigante' cactus pear cultivated with different spacings and organic fertilizer. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 20, 1083–1088. Doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v20n12p1083-1088

Dubeux Jr., J.C.B., Jaramillo, D., Santos, E.R.S., Garcia, L., Queiroz, L.D., 2022. Invited Review: Ecosystem services provided by grasslands in the Southeast United States. Applied Animal Science 38, 648–659. Doi: 10.15232/aas.2022-02296

Dubeux Jr., J.C.B., Sollenberger, L.E., 2020. Nutrient cycling in grazed pastures, in: Rouquette Jr., M., Aiken, G.E. (Eds.), Management Strategies for Sustainable Cattle Production in Southern Pastures. Academic Press, pp. 59–75. Doi: 10.1016/B978-0-12-814474-9.00004-9

Edvan, R.L., Carneiro, M.S. de S., Magalhães, J.A., Albuquerque, D.R., Silva, M.S. de M., Bezerra, L.R., Oliveira, R.L., Santos, E.M., 2014. The forage yield of *Gliricidia sepium* during the rainy and dry seasons following pruning management in Brazil. Cienc Investig Agrar 41, 309–316. Doi: 10.4067/s0718-16202014000300003

Emerenciano Neto, J.V., Difante, G.S., Lana, A.M.Q., Campos, N.R.F., Veras, E.L.L., Moraes, J.D., 2017. Sward structure and herbage accumulation of Massai guineagrass pastures managed according to pre-grazing heights, in the northeast of Brazil. Journal of Agricultural Science 9, 155. Doi: 10.5539/jas.v9n4p155

Euclides, V.P.B., Lopes, F.D.C., Do Nascimento Junior, D., Carneiro Da Silva, S., Difante, G.D.S., Barbosa, R.A., 2016. Steer performance on *Panicum maximum* (cv. Mombaça) pastures under two grazing intensities. Anim Prod Sci 56, 1849–1856. Doi: 10.1071/AN14721

Euclides, V.P.B., Montagner, D.B., Difante, G.S., Barbosa, R.A., Fernandes, W.S., 2014. Sward structure and livestock performance in guinea grass cv: Tanzania pastures managed by rotational stocking strategies. Sci Agric 71, 451-457. Doi: 10.1590/0103-9016-2013-0272

Euclides, V.P.B., Montagner, D.B., Macedo, M.C.M., Araújo, A.R., Difante, G.S., Barbosa, R.A., 2019. Grazing intensity affects forage accumulation and persistence of Marandu palisadegrass in the Brazilian savannah. Grass and Forage Science 74, 450–462. Doi: 10.1111/gfs.12422

Freire, L.R., Anjos, L.H.C., Pereira, M.G., Zonta, E., Lima, E., Santos, G.A., Amaral Sobrinho, N.M.B., Eira, P.A., 2013. Análise química de amostras de terra, in: Freire, L.R., Balieiro, F.C., Everaldo Zonta, Anjos, L.H.C., Pereira, M.G., Lima, E., Guerra, J.G.M., Ferreira, M.B.C., Leal, M.A.A., Campos, D.V.B., Polidoro, J.C. (Eds.), Manual de Calagem e Adubação Do Estado Do Rio de Janeiro. Embrapa, Editora Universidade Rural, Seropédica, RJ, pp. 69–86.

Garcia, C.V., Mello, A.C.L., Cunha, M.V., Silva, M.C., Santos, D.C., Santos, M.V.F., Dubeux Jr., J.C.B., Homem, B.G.C., 2021. Agronomic characteristics and nutritional value of cactus pear progenies. Agron J 113, 4721-4735. Doi: 10.1002/agj2.20868

Grace, C., Boland, T.M., Sheridan, H., Brennan, E., Fritch, R., Lynch, M.B., 2019. The effect of grazing versus cutting on dry matter production of multispecies and perennial ryegrass-only swards. Grass and Forage Science 74, 437-449. Doi: 10.1111/gfs.12440

Haraguchi, M., 2003. Plantas tóxicas de interesse na pecuária. Biológico 65, 37-39.

Harper, K., Quigley, S.P., Antari, R., Dahlanuddin, -, Panjaitan, T.S., Marsetyo, -, Poppi, D.P., 2019. Energy supplements for leucaena. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 7, 182-188. Doi: 10.17138/tgft(7)182-188

Jørgensen, S.T., Pookpakdi, A., Tudsri, S., Stölen, O., Ortiz, R., Christiansen, J.L., 2010. Cultivar-by-cutting height interactions in Napier grass (*Pennisetum purpureum* Schumach) grown in a tropical rain-fed environment. Acta Agric Scand B Soil Plant Sci 60, 199-210. Doi: 10.1080/09064710902817954

Kung, L., Shaver, R.D., Grant, R.J., Schmidt, R.J., 2018. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. J Dairy Sci 101, 4020–4033. Doi: 10.3168/jds.2017-13909

Lemaire, G., Chapman, D., 1996. Tissue flows in grazed plant communities, in: Hodgson, J., Illius, A.W. (Eds.), The Ecology and Management of Grazing Systems. CAB International, Wallingford, pp. 3-36.

Lemos, M.F., Andrade, A.P., Silva, P.H.F., Santos, C.O., Souza, C.F.B., Silva, M.A.V., Medeiros, A.S., Oliveira Neto, P.M., 2020. Nutritional value, fermentation losses and aerobic stability of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) silage treated with exogenous fibrolytic enzymes. Acta Sci 42, e48272. Doi: 10.4025/actascianimsci.v42i1.48272

Lemos, M.F., Mello, A.C.L., Guim, A., Cunha, M.V., Silva, P.H.F., Atroch, T.M.A., Simões Neto, D.E., Oliveira Neto, P.M., Medeiros, A.S., Clemente, J.V.F., 2021. Grass size and butterfly pea inclusion modify the nutritional value of elephant grass silage. Pesqui Agropecu Bras 56. Doi: 10.1590/s1678-3921.pab2021.v56.02409

Lima, G.F.C., Rego, M.M.T., Dantas, F.D.G., Lôbo, R.N.B., Silva, J.G.M., Aguiar, E.M., 2016. Morphological characteristics and forage productivity of irrigated cactus pear under different cutting intensities. Revista Caatinga 29, 481-488. Doi: 10.1590/1983-21252016v29n226rc

Lopes, M.N., Cândido, M.J.D., Gomes, G.M.F., Maranhão, T.D., Gomes, E.C., Soares, I., Pompeu, R.C.F.F., Silva, R.G., 2021. Forage biomass and water storage of cactus pear under different managements in semi-arid conditions. Revista Brasileira de Zootecnia 50, 1-17. Doi: 10.37496/RBZ5020210022

Lopes, S.P., Garcia, F.Z., Souza, V.C., Costa, D.F.A., Malafaia, P., 2018. Bio-economic evaluation of a reduced phosphorus supplementation strategy for a cow-calf system in Brazil: a case study. Trop Anim Health Prod 50, 205-208. Doi: 10.1007/s11250-017-1402-9

Malafaia, P., Cruz, P.B., Silva, V.P., 2014. Milk production, composition and body condition score of lactating goats receiving two types of mineral mixtures. Pesquisa Veterinária Brasileira 34, 119-122. Doi: 10.1590/S0100-736X2014000200004

Marschner, P., 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, Third. ed. Elsevier. Doi: 10.1016/C2009-0-63043-9

Mello, A.C.L., Veras, A.S.C., Lira, M.A. Sistemas intensivos de produção de bovinos em pastagens de capim-elefante. 2010. In: Lira, M.A., Santos, M.V.F., Dubeux Júnior, J.C.B., Mello, A.C.L. (Org.). Capim-elefante: fundamentos e perspectivas. 1ed. Recife, PE: IPA/UFRPE, 2010. p. 109-195.

Mieres, J.M., 1997. Tipo de suplemento y su efecto sobre el forraje. Suplementación estratégica para el engorde de ganado 11-15.

Monção, F.P., Costa, M.A.M.S., Rigueira, J.P.S., Sales, E.C.J., Leal, D.B., Silva, M.F.P., Gomes, V.M., Chamone, J.M.A., Alves, D.D., Carvalho, C.C.S., Murta, J.E.J., Rocha Júnior, V.R., 2020. roductivity and nutritional value of BRS capiaçu grass (*Pennisetum purpureum*) managed at four regrowth ages in a semiarid region. Trop Anim Health Prod 52, 235–241. 10.1007/s11250-019-02012-y

Moojen, F.G., Bremm, C., Laca, E.A., Machado, D.R., Savian, J. v., Carvalho, P.C.F., 2022. Herbage allowance and stocking method effect on grazing systems: Results of a long-term experiment. Grass and Forage Science 77, 45-54. 10.1111/gfs.12556

Mott, G.O., Lucas, H.I., 1952. The desing, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures, in: Proceedings of the Sixth International Grassland Congress. Pennsylvania State College, Pennsylvania, pp. 1-6.

Muck, R.E., Nadeau, E.M.G., McAllister, T.A., Contreras-Govea, F.E., Santos, M.C., Kung Jr,, L. 2018. Silage review: recent advances and future uses of silage additives. Journal of Dairy Science 101, 3980-4000. https://doi.org/10.3168/jds.2017-13839.

Nascimento Júnior, D., Queiroz, D.S., Santos, M.V.F. Degradação de pastagens, critérios para avaliação, in: Simpósio sobre manejo da pastagem, 11., 1994, Piracicaba. Anais... Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 107-151.

Nascimento, K.S., Edvan, R.L., Santos, C.O., Sousa, J.M.S., Nascimento, R.R., Miranda, R.S., Bezerra, L.R., Biagiotti, D., Lima Neto, A.F., Araújo, M.J., 2022. Production aspects of hay of tropical pasture of *Urochloa brizantha*, *Megathyrsus maximus* and *Andropogon gayanus*: forage mass yield characteristics, evaluation of losses, dehydration and nutritional value of hays. Crop Pasture Sci 73, 1425–1437. 10.1071/CP22080

Neiva, J.N.M., Cândido, M.J.D., 2003. Manejo intensivo de pastagens cultivadas para ovinos, in: II Simpósio Internacional Sobre Caprinos e Ovinos de Corte - SINCORTE. João Pessoa, PB, pp. 1–20.

Neres, M.A., Castagnara, D.D., Mufatto, L.M., Fernandes, T., Hunoff, C.A., Wobeto, J.R., Nath, C.D., 2014. Changes in Tifton 85 bermudagrass hay storage in the field or under shed. Archivos de Zootecnia 63, 555–558. 10.4321/S0004-05922014000300017

Oliveira Neto, P.M., Cunha, M.V., Oliveira, E.J., Santos, M.V.F., Moura, J.G., 2018. Dynamics of herbaceous vegetation in Caatinga manipulated with grazing exclusion under phosphate fertilization. Revista Caatinga 31, 1027–1039. https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n426rc

Parsons, A.J., Johnson, R., 1988. Use of a model to optimize the interaction between frequency and severity of intermittent defoliation and to provide a fundamental comparison of the continuous and intermittent defoliation of grass. Grass and Forage Science 43, 59.

Pasqualotto, M., Neres, M.A., Guimarães, V.F., Klein, J., Inagaki, A.M., Ducati, C., 2015. Gas exchanges and dehydration in different intensities of conditioning in tifton 85 bermudagrass: nutritional value during hay storage. Asian-Australas J Anim Sci 28, 807–815. 10.5713/ajas.14.0826

Pereira, F.A.R., Verzignassi, J.R., Arias, E.R.A., Carvalho, F.T., Silva, A.P., 2011. Controle de plantas daninhas em pastagens, in: Documentos 145. Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS, pp. 1–22.

Pereira, J.S., Cavalcante, A.B., Nogueira, G.H.M.S.M.F., Campos, F.S., Araújo, G.G.L., Simões, W.L., Voltolini, T., 2020. Morphological and yield responses of spineless cactus Orelha de Elefante Mexicana under different cutting intensities. Revista Brasileira de Saude e Producao Animal 21, 1–10. 10.1590/S1519-99402121142020

Pereira, L.E.T., Herling, V.R., Tech, A.R.B., 2022. Current scenario and perspectives for nitrogen fertilization strategies on tropical perennial grass pastures: A review. Agronomy 12, 2079. 10.3390/agronomy12092079

Philp, J.N.M., Cornish, P.S., Te, K.S.H., Bell, R.W., Vance, W., Lim, V., Li, X., Kamphayae, S., Denton, M.D., 2021. Insufficient potassium and sulfur supply threaten the productivity of perennial forage grasses in smallholder farms on tropical sandy soils. Plant Soil 461, 617–630. Doi: 10.1007/s11104-021-04852-w

Poppi, D.P., Quigley, S.P., Silva, T.A.C.C. da, McLennan, S.R., 2018. Challenges of beef cattle production from tropical pastures. Revista Brasileira de Zootecnia 47. Doi: 10.1590/rbz4720160419

Portz, A., Resende, A.S., Teixeira, A.J. et al. Recomendações de adubos, corretivos e manejo da matéria orgânica para as principais culturas do Estado do Rio de Janeiro. In: FREIRE, L. R. et al. (Ed.). Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro. 1. ed. Seropédica: Editora Universidade Rural, 2013. p. 257-411.

Ramos, J.P.F., Macêdo, A.J.S., Santos, E.M., Edvan, R.L., Sousa, W.H., Perazzo, A.F., Silva, A.S., Cartaxo, F.Q., 2021. Forage yield and morphological traits of cactus pear genotypes. Acta Sci Agron 43, 1–11. Doi: 10.4025/ACTASCIAGRON.V43I1.51214

Ramos-Trejo, O., Canul-Solís, J.R., Ku-Vera, J.C., 2016. Forage yield of *Gliricidia sepium* as affected by harvest heigh and frequency in Yucatan, Mexico. Revista Bio Ciencias 4, 116–123. Doi: 10.15741/revbio.04.02.04

Reis, R.A., Bernardes, T.F., Siqueira, G.R. 2013. Forragicultura: ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiros. Jaboticabal: Maria de Lourdes Brandel – ME. 714 p.

Saraiva, F.M., Dubeux Jr., J.C.B., Cunha, M.V., Menezes, R.S.C., Santos, M.V.F., Camelo, D., Ferraz, I., 2022. Performance of forage cactus Intercropped with arboreal legumes and fertilized with different manure sources. Agronomy 12, 1887. Doi: 10.3390/agronomy12081887

Savian, J.V., Barth Neto, A., David, D.B., Bremm, C., Schons, R.M.T., Genro, T.C.M., Amaral, G.A., Gere, J., McManus, C.M., Bayer, C., Carvalho, P.C.F., 2014. Grazing intensity and stocking methods on animal production and methane emission by grazing sheep: Implications for integrated crop-livestock system. Agric Ecosyst Environ 190, 112–119. Doi: 10.1016/j.agee.2014.02.008

Sbrissia, A.F., Duchini, P.G., Zanini, G.D., Santos, G.T., Padilha, D.A., Schmitt, D., 2018. Defoliation strategies in pastures submitted to intermittent stocking method: Underlying mechanisms buffering forage accumulation over a range of grazing heights. Crop Sci 58, 945–954. Doi: 10.2135/cropsci2017.07.0447

Silva, A.B., Carvalho, C.A.B., Morenz, D.A., Silva, P.H.F., Santos, A.J., Santos, F.C., 2018. Agricultural answers and chemical composition of Massai grass under different nitrogen doses and urea sources. Semin Cienc Agrar 39, 1225. Doi: 10.5433/1679-0359.2018v39n3p1225

Silva, P.H.F., Carvalho, C.A.B., Malafaia, P., Garcia, F.Z., Barbero, R.P., Ferreira, R.L., 2019a. Morphological and structural characteristics of *Urochloa decumbens* Stapf. deferred pasture grazed by heifers under two periods of protein-energy supplementation. Acta Sci 41, 44425. Doi: 10.4025/actascianimsci.v41i1.44425

Silva, P.H.F., Carvalho, C.A.B., Malafaia, P., Garcia, F.Z., Peres, A.A.C., Souza, P.M., Barbero, R.P., Ferreira, R.L., 2019b. Bioeconomic analysis of protein-energy supplementation periods in dry season for Nellore heifers in stockpiled pastures of *Urochloa decumbens*. Arq Bras Med Vet Zootec 71, 1058-1066. Doi: 10.1590/1678-4162-10511

Silva, P.H.F., Sales, T.B., Lemos, M.F., Silva, M.C., Ribeiro, R.E.P., Santos, M.V.F., Mello, A.C.L., Cunha, M.V., 2021. Tall and short-sized elephant grass genotypes: Morphophysiological aspects cut-and-carry, and grazing management. Ciência Rural 51, 1-9. Doi: 10.1590/0103-8478cr20200848

Silva-Marques, R.P., Zervoudakis, J.T., Hatamoto-Zervoudakis, L.K., Cabral, L.D.S., Alexandrino, E., José Neto, A., Soares, J.Q., Melo, A.C.B., 2015. Multiple supplements for beef heifers on pasture during the dry season: nutritional characteristics. Semin Cienc Agrar 36, 509. Doi: 10.5433/1679-0359.2015v36n1p509

Soares, É.M., Quadros, F.L.F., Carvalho, R.M.R., Oliveira, L.B., Jochims, F., Dutra, G.M., Fernandes, A.M., Trindade, J.P.P., Ilha, G.F., 2015. Beef heifers performance in natural grassland under continuous and rotational grazing in the autumn-winter. Ciência Rural 45, 1859-1864. Doi: 10.1590/0103-8478cr20141529

Sollenberger, L.E., 2020. Pasture Design and Grazing Management, in: Moore, K.J., Collins, M., Nelson, C.J., Redfearn, D.D. (Eds.), John Wiley & Sons Ltd., USA.

Sollenberger, L.E., Agouridis, C.T., Vanzant, E.S., Franzluebbers, A.J., Owens, L.B., 2012. Prescribed grazing on pasturelands, in: Nelson, J. (Ed.), Pastureland and Hayland Practices: Assessment, Recommendations, and Knowledge Gaps. Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service, pp. 111–204.

Sollenberger, L.E., Kohmann, M.M., Dubeux Jr., J.C.B., Silveira, M.L., 2019. Grassland management affects delivery of regulating and supporting ecosystem services. Crop Sci. Doi: 10.2135/cropsci2018.09.0594

Souza, R.T.A., Santos, M.V.F., Silva, P.H.F., Gonçalves, G.D., Cunha, M.V., 2022. Capim-elefante, opção forrageira de alta produtividade, in: Santos, M.V.F., Neiva, J.N.M. (Eds.), Culturas Forrageiras No Brasil: Uso e Perspectivas. Suprema Gráfica, MG. pp. 121-150.

Stewart, W.C., Scasta, J.D., Taylor, J.B., Murphy, T.W., Julian, A.A.M., 2021. Invited Review: Mineral nutrition considerations for extensive sheep production systems. Applied Animal Science 37, 256-272. Doi: 10.15232/aas.2021-02143

Tavares, F.M., Schulz, K., Pereira, R.C.A., Cierjacks, A., Almeida-Cortez, J.S., 2016. Floristic survey of the Caatinga in areas with different grazing intensities, Pernambuco, Northeast Brazil. Journal of Environmental Analysis and Progress 1, 43-51. Doi: 10.24221/jeap.1.1.2016.986.43-51

Tesk, C.R.M., Pedreira, B.C., Pereira, D.H., Pina, D.S., Ramos, T.A., Mombach, M.A., 2018. Impact of grazing management on forage qualitative characteristics: a review. Scientific Electronic Archives 11, 188-197. Doi: 10.36560/1152018667

Tokarnia, C.H., Britto, M.F., Barbosa, J.D., Peixoto, P.V., Döbereiner, J. 2012. Plantas Tóxicas do Brasil para Animais de Produção. 2.ed. Rio de Janeiro: Helianthus, 530 p.

Torres, F.Z.V., 2022. Pragas das pastagens: características, danos e manejo, in: Documentos 300. Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS, pp. 1-114.

Valério, J.R., 2009. Cigarrinhas-das-pastagens, in: Documentos 179. Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS, pp. 1-51.

Vecchio, M.C., Bolaños, V.A., Golluscio, R.A., Rodríguez, A.M., 2019. Rotational grazing and exclosure improves grassland condition of the halophytic steppe in Flooding Pampa (Argentina) compared with continuous grazing. Rangeland Journal 41, 1-12. Doi: 10.1071/RJ18016

Verzignassi, J.R., Souza, F.H.D., Fernandes, C.D., Carvalho, J., Barbosa, M.P.F., Barbosa, O.S., Vida, J.B. 2003. Estratégias de controle da mela em área de produção de sementes de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. *Summa Phytopathologica* 29(1), pp. 66.

Victoria Filho, R., Ladeira Neto, A., Pelissari, A., Reis, F.C., Daltro, F.P. 2014. Manejo sustentável de plantas daninhas em pastagens. Monquero, PA (Ed.). Manejo de plantas daninhas nas culturas agrícolas. Rima (Editorial) São Carlos/SP: RiMa, 179-207.

Voltolini, T.V., Gois, G.C., 2021. Avaliação da seletividade por ruminantes em pastagens naturais semiáridas, in: Simpósio de Metodologias Aplicadas a Ecossistemas Pastoris Semiáridos. Imprensa Universitária, Fortaleza, pp. 189-217.

Wang, Y., Majak, W., McAllister, T.A., 2012. Frothy bloat in ruminants: Cause, occurrence, and mitigation strategies. Anim Feed Sci Technol 172, 103–114. Doi: 10.1016/j.anifeedsci.2011.12.012

Zhou, Y., Gowda, P.H., Wagle, P., Ma, S., Neel, J.P.S., Kakani, V.G., Steiner, J.L., 2019. Climate effects on tallgrass prairie responses to continuous and rotational grazing. Agronomy 9, 219. Doi: 10.3390/agronomy9050219

06

Irrigação de plantas forrageiras

Magno José Duarte Cândido[1]
Marcos Neves Lopes[2]
Alan Bernard Oliveira de Sousa[1]
Francisco Gleyson da Silveira Alves[1]
Aníbal Coutinho do Rêgo[1]

Introdução

O Brasil em geral apresenta grande potencial para irrigar pastagens, sendo que dos atuais 8,2 milhões de hectares de áreas irrigadas (Revista Rural, 2021), a área destinada à irrigação para a pecuária, embora ainda reduzida se comparada à agricultura, vem crescendo consideravelmente. Esse crescente uso da irrigação decorre do grande desenvolvimento dessa tecnologia nos últimos anos. Por meio do seu uso correto (quanto, quando e como aplicar determinada lâmina de água), tem se conseguido amenizar os efeitos negativos da distribuição das chuvas, em frequência e volume. A irrigação também atenuará problemas dentro da estação chuvosa, quando ocorrem períodos de déficit hídrico, refletindo imediatamente nas

[1] Docente do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará
[2] Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), Campus Valença do Piauí.
[3] Docente do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará.
[4] Pesquisador Visitante do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará

características morfofisiológicas das forrageiras e, portanto, afetando diretamente a produção de forragem nas pastagens.

As plantas forrageiras sob estresse hídrico têm dificuldade na absorção de nutrientes, afetando suas respostas morfofisiológicas e comprometendo a produção e o acúmulo de forragem, ratificando assim a importância do uso da irrigação (manejada adequadamente) como ferramenta para a intensificação da produção de forragens.

A produção de forragem define a capacidade de suporte da área, destacando-se a relevância das ferramentas de manejo das espécies forrageiras em condições de luminosidade e temperatura não limitantes, com o propósito de alcançar a máxima resposta econômica e sustentabilidade destas áreas com o uso da irrigação. A produção de biomassa de forragem na estação seca tem sido um dos principais fatores responsáveis por limitar a produtividade dos rebanhos brasileiros (Macedo et al., 2022), quer seja em condições tropicais ou subtropicais. Na tentativa de atenuar os efeitos da limitação imposta pelo período seco, a produtividade dos rebanhos pode ser assegurada e elevada com o uso da irrigação (Silva et al. 2007; Pompeu et al., 2009).

Nesse contexto, a irrigação destaca-se como ferramenta de manejo de importância comprovada para incrementar a produtividade e a qualidade da forragem nos ecossistemas pastoris, com plantas forrageiras que apresentam potencial genético de resposta ao manejo mais intensivo em termos de suprimentos de água e nutrientes.

Diante do exposto, objetivou-se apresentar no presente capítulo informações relevantes e aplicadas acerca da irrigação de plantas forrageiras (em sistemas sob pastejo e sob corte), destacando-se o potencial e limitações das condições brasileiras para irrigar pastagens, principais sistemas adotados, manejo adequado da lâmina aplicada (quanto, quando e como aplicar), além dos aspectos econômicos do uso da irrigação em áreas de produção de forragens.

Potencial e limitações do Brasil para irrigar pastagens

Embora boa parte do território brasileiro tem grande potencial para irrigação de pastagens, como o investimento no sistema de irrigação hoje é bem caro, superior a R$ 15.000,00 por hectare, convém o técnico juntamente com o produtor fazer uma análise minuciosa das condições de clima e de solo da área a ser irrigada e até mesmo averiguar se a(s) planta(s) forrageira(s) já estabelecida(s) ou a estabelecer são compatíveis com a possibilidade de irrigar e com a qualidade da água disponível para irrigar, de modo a tornar a adoção dessa tecnologia viável ao nível da propriedade.

Aspectos climáticos

Quanto ao clima, a planta forrageira além da água, precisa de outros fatores climáticos para produzir, especialmente, luz solar e temperatura. Quando lhe falta algum dos fatores mencionados em condições ideais para seu crescimento, sua produção é reduzida, podendo até ser paralisada. Ainda que não chegue ao ponto de paralisar completamente o crescimento, o simples fato da planta forrageira ser manejada sob irrigação sem a disponibilidade adequada dos demais fatores abióticos, pode inviabilizar o investimento feito no sistema de irrigação.

Nesse sentido, Pìnheiro (2002) comparou a viabilidade da irrigação do Capim-tanzânia em diferentes regiões do Brasil, relatou que em Piracicaba, SP, a produtividade total estimada foi de 17386 e de 12296 kg MS ha^{-1} ano^{-1} sob irrigação e sob sequeiro, respectivamente, considerando uma aplicação de nitrogênio equivalente a 600 kg ha^{-1} ano^{-1}. O mesmo autor mencionou que em Aragarças, GO, a produtividade total estimada foi de 31915 e de 20157 kg MS ha^{-1} ano^{-1}sob irrigação e sob sequeiro, respectivamente, considerando a mesma adubação nitrogenada. O mesmo autor verificou ainda que em Aragarças, GO, situada 7º de latitude a menos que Piracicaba, SP, durante 7 meses por ano a produtividade estimada na área irrigada foi expressivamente superior àquela da área de sequeiro, ao passo que nesta última a superioridade só ocorreu em 6 meses e, mais ainda, a diferença mensal nos meses de superioridade da área irrigada foi de no máximo 1000 kg de MS ha^{-1} $mês^{-1}$ em Piracicaba, SP, mas chegou a 2000 kg de MS ha^{-1} $mês^{-1}$ a diferença em Aragarças, GO.

Estes dados, demonstram que em localidades mais próximas da linha do Equador há maior disponibilidade de radiação solar e de temperatura para a planta forrageira realizar a fotossíntese e, consequentemente, há maior potencial de resposta ao uso da irrigação, desde que a região já não tenha uma pluviosidade muito elevada.

Aspectos edáficos

Conjuntamente com os fatores climáticos, as características do solo podem potencializar ou reduzir a resposta da planta forrageira à irrigação, sejam as características químicas ou físicas do solo.

No aspecto químico, as plantas absorvem a maior parte dos elementos químicos para o seu metabolismo do solo, assim um solo deficiente ou desbalanceado prejudica a resposta da planta e, consequentemente, inviabiliza o investimento em irrigação. Os aspectos nutricionais do solo podem ser resumidos nas leis do mínimo, dos incrementos decrescentes, do máximo e da interação.

Conforme a lei do mínimo, o crescimento de uma planta está limitado por aquele nutriente que se encontra em menor proporção no solo, em relação à necessidade das plantas (Raij, 1991). Isso demonstra a importância da análise do solo como primeiro passo para um correto manejo nutricional das plantas e melhor resposta à irrigação.

A lei dos incrementos decrescentes estabelece que "com o aumento progressivo das doses do nutriente deficiente no solo, a produtividade aumenta rapidamente no início (tendendo a uma resposta linear) e estes aumentos tornam-se cada vez menores até atingir um platô, quando não há mais resposta a novas adições" (Malavolta, 1980). Donde se conclui que após determinado nível do nutriente no solo, maior resposta da planta será obtida via ajuste da irrigação que com aplicações adicionais de nutrientes.

A lei do máximo pontua que "o excesso de um nutriente no solo reduz a eficácia de outros e, por conseguinte, pode diminuir o rendimento das culturas" (Voisin, 1973), o que ressalta a importância do monitoramento da fertilidade do solo por meio de análises periódicas para evitar inclusive prejuízos com o uso da irrigação num solo desbalanceado em nutrientes.

Já a lei da Interação demonstra que "cada fator de produção é tanto mais eficaz quando os outros estão mais perto do seu ótimo" (Voisin, 1973). Essa lei é fundamental não só para a combinação entre nutrientes, mas entres fatores de produção, como água e nutrientes, portanto, a busca da combinação ótima entre o nível de fertilidade do solo e a lâmina de água aplicada podem otimizar o retorno econômico da adoção da irrigação em plantas forrageiras.

No aspecto físico, as principais características do solo que afetam a disponibilidade de água para as plantas são: a textura, a estrutura, a porosidade e a densidade aparente.

A textura refere-se à proporção entre as partículas de areia, silte e argila que o solo possui. Simplificando, as partículas de areia são maiores e quanto maior sua proporção, mais arenoso é o solo, o que permite um maior deslocamento da água, podendo esta ser perdida com mais facilidade por lixiviação, o inverso acontecendo com as partículas de argila e o silte ficando no meio termo.

A estrutura refere-se à forma como os agregados do solo se juntam. Há estrutura granular, em blocos, prismática, planificada e massiva, sendo que a estrutura mais interessante para o movimento da água no solo e para a ocupação do maior volume de solo pelas raízes é a estrutura granular.

A porosidade refere-se à proporção entre o volume de poros e o volume total do solo, devendo ficar entre 30 e 40%. Valores superiores poderão causar grandes

perdas de água do solo e valores inferiores poderão prejudicar o movimento da água no solo e sua ocupação pelo sistema radicular.

A densidade aparente é a massa do solo dividida pelo seu volume. Quanto maior a densidade aparente, há risco de compactação, que também poderá prejudicar tanto o movimento da água no solo como o desenvolvimento do sistema radicular.

Sumariando os aspectos físico-químicos do solo, pode-se concluir que a adoção da irrigação será mais efetiva em solos cuja fertilidade natural já seja elevada e que não tenha problemas com acidez ou salinidade, mas que também tenha condições físicas favoráveis à infiltração e retenção da água da irrigação no perfil do solo e que possam ser amplamente explorados pelo sistema radicular da planta, garantindo a absorção da água da irrigação, antes que seja perdida por lixiviação ou evaporação.

Finalmente, é importante ajustar o manejo do pastejo em áreas irrigadas para não prejudicar o solo e, consequentemente, a produção de forragem. Especialmente em pastagens sob lotação rotativa com elevada densidade de lotação, há grande risco de compactação do solo se os animais transitarem em áreas recentemente irrigadas e que o solo ainda esteja bastante úmido na superfície. Esse risco pode ser minimizado adotando uma forma dos piquetes onde a maior medida não seja mais do que 2,5 vezes o tamanho da menor medida, garantindo um resíduo pós-pastejo que propicie um bom aporte de matéria orgânica no solo e também, quando possível, evitando colocar os animais em piquetes que acabaram de ser irrigados.

Aspectos da planta

Quanto aos aspectos da planta que afetam a eficiência da irrigação, pode-se partir de duas estratégias distintas, o cultivo de plantas altamente responsivas à irrigação ou o uso de plantas com elevada eficiência de uso da água.

No primeiro caso, tem-se principalmente as plantas forrageiras do tipo C4, que são basicamente as gramíneas tropicais. São plantas com alto potencial produtivo e elevada capacidade de conversão da água absorvida em matéria seca, mas que não são tão econômicas no uso da água, dada a sua elevada capacidade produtiva.

Destacam-se nesse grupo de plantas altamente responsivas à irrigação, as gramíneas perenes dos gêneros *Cynodon* (capins tifton, coast-cross etc.), *Panicum* (syn. *Megathyrsus*, capins mombaça, tanzânia, massai, tamani etc.), *Pennisetum* (capins do grupo elefante) e *Saccharum* (Cana-de-açúcar), além das espécies anuais dos gêneros *Zea* (Milho) e *Sorghum* (Sorgo).

No grupo das plantas com alta eficiência de uso da água, poder-se-ía pensar que não há necessidade de irrigação, dada sua alta capacidade de extração de água do solo e de retenção de água em seus tecidos. Mas aqui podem ser mencionadas também plantas com tolerância a águas salobras (Glenn et al., 1998), que contribuem para a redução do teor de sais no solo, mediante o uso da irrigação nesse solo, como é o caso da erva-sal (*Atriplex numulária* Lindl), mencionada por Porto et al. (2003).

A irrigação de plantas eficientes no uso da água também se justifica pela elevação na resposta de algumas destas plantas à aplicação de pequenas lâminas de água, comparativamente às culturas altamente responsivas já citadas. Nesse aspecto, plantas do gênero *Opuntia* e *Nopalea* (ambos grupos conhecidos genericamente como palma forrageira) tem despertado interesse pela mudança no seu metabolismo de CAM (metabolismo ácido crassuláceo), quando abrem os estômatos somente à noite para minimizar a perda de água por transpiração, para C3, abrindo os estômatos durante o dia, desde que haja um suprimento hídrico minimamente adequado. Para aprofundar sobre irrigação em palma forrageira recomenda-se a leitura de Lima et al. (2022).

A mudança nesse metabolismo, reportada por Pimienta-Barrios et al. (2012), explica o fato de uma planta altamente eficiente no uso da água, ser capaz também de produzir biomassa fresca de até 300.000 kg ha^{-1} ano^{-1}, com lâmina de irrigação em torno de 5 mm dia^{-1} (Dantas et al., 2017), eficiência bem superior às plantas altamente responsivas, que produzem uma biomassa fresca em torno de 135.000 kg ha^{-1} ano^{-1} com a mesma lâmina de água (Voltolini et al., 2011).

Métodos de irrigação em plantas forrageiras

Deve-se entender método como a maneira de proceder determinada ação, já sistemas está relacionado com a disposição dos elementos de um todo. Dessa forma, aspersão, irrigação localizada e irrigação por superfície são os principais métodos de irrigação. A irrigação por aspersão e a irrigação localizada ou microirrigação são métodos pressurizados e a irrigação por superfície refere-se a métodos não pressurizados, sendo que cada método de irrigação pode apresentar diferentes sistemas de disposição.

A agricultura irrigada pode ser desenvolvida em diferentes tipos de relevo e de solo, bem como atender diferentes variedades de culturas. Deve-se selecionar o sistema de irrigação mais adequado a cada condição, considerando-se os interesses envolvidos. O processo de seleção deve-se basear na análise das condições existentes, em função das exigências de cada sistema de irrigação.

Neste capítulo será abordada apenas a aplicação da irrigação localizada e a irrigação por aspersão no cultivo de forrageiras. De modo geral, a irrigação por aspersão é o método mais utilizado para este fim, já a irrigação localizada pode ser utilizada em alguns casos específicos.

Método de irrigação por aspersão

Na irrigação por aspersão, a aplicação da água ao solo resulta da subdivisão de um jato d'água lançado sob pressão, através de simples orifícios ou de bocais de aspersores, simulando uma precipitação. Os sistemas de aspersão em geral são classificados em dois grupos principais: sistemas móveis (com movimentação contínua) e sistemas fixos ou estacionários, descritos a seguir:

Sistemas estacionários

Os sistemas convencionais são constituídos por linhas principal, secundárias e laterais e, sobre estas, são acoplados os aspersores (Figura 1A). As linhas secundárias podem ser dispensáveis em alguns casos. Pode-se classificar esses sistemas quanto à mobilidade das tubulações na área irrigada em fixos permanentes, fixos temporários, em malha, semifixos e portáteis.

Os sistemas fixos permanentes apresentam as tubulações enterradas e apenas as hastes dos aspersores e dos registros permanecem à superfície do terreno. São sistemas de alto custo inicial, justificando-se apenas para irrigação de pequenas áreas, culturas de alto valor econômico e em locais onde a mão de obra é escassa e/ou cara. São sistemas bem adaptados a condições de solo arenoso, com baixa capacidade de retenção de água e climas com alta demanda evaporativa.

Salienta-se que emissores com alta intensidade de aplicação podem ocasionar escoamento superficial, caso a velocidade de infiltração básica do solo (VIB) seja inferior à intensidade de aplicação do aspersor. Dessa forma, a escolha do aspersor deve levar em conta as características do local do projeto.

Para pastagens mais adensadas, os principais aspersores utilizados são os de pressão de serviço média (20 a 40 mca). Aspersores com pressão superior podem ser utilizados, a depender da cultura utilizada.

Nos sistemas fixos temporários as linhas laterais, secundárias e principais permanecem fixas em suas respectivas posições durante as irrigações, cobrindo toda a área. Diferem-se dos sistemas permanentes por apresentarem as tubulações dispostas sobre a superfície do terreno, podendo ser removidas quando desejado.

Os sistemas em malha são comumente utilizados para irrigação de pastagens. Apresentam características comuns aos sistemas permanentes e temporários. As tubulações são enterradas, realizando-se a mudança apenas de um emissor dentro de cada malha. Caracterizam-se por reduzido custo com a mão de obra e aquisição inicial de emissores, além de menor vazão em comparação aos sistemas permanentes.

Os sistemas semifixos apresentam linhas secundárias e principais fixas, enterradas ou não. Apenas as linhas laterais cobrem parte do campo, deslocando-se nas diferentes posições da área irrigada. As tubulações são leves, com juntas ou conexões de acoplamento rápido. Os aspersores são conectados diretamente sobre os tubos da linha lateral ou sobre acessórios especiais acoplados nas extremidades dos tubos. As laterais podem operar com vários aspersores aplicando água ou com um único aspersor canhão.

Nos sistemas portáteis, todas as linhas que compõem o sistema são móveis, fabricadas de material leve como alumínio e PVC, e deslocam progressivamente na área irrigada. Até mesmo a unidade de bombeamento pode ser deslocada. São casos típicos em que se procura substituir o custo inicial de aquisição do equipamento por custo operacional, em função da maior quantidade de mão de obra requerida no deslocamento das tubulações.

Sistemas móveis

Os mecanismos utilizados para a movimentação dos equipamentos podem ser hidráulicos ou elétricos. Pode-se utilizar trator agrícola para mudanças de posição de operação em alguns casos. Entre os sistemas de movimentação contínua de irrigação por aspersão pode-se destacar as linhas laterais autopropelidas e aspersores autopropelidos.

Linhas laterais autopropelidas constituem os sistemas mecanizados em que a linha lateral, contendo os aspersores, possui mecanismos propulsores que propiciam sua movimentação contínua ou intermitente na área irrigada. Os sistemas com movimentação contínua podem ser classificados pela direção do deslocamento: sistema linear e movimentação contínua (sistema linear), sistema com deslocamento linear com movimentação intermitente (lateral rolante ou rolão) e sistema com deslocamento radial, mais conhecido por sistema pivô central (Figura 1B).

Já os aspersores autopropelidos irrigam faixas longas, de largura variável, deslocando-se de forma contínua e linear no sentido do eixo da faixa. O aspersor funciona setorialmente, de maneira que o seu deslocamento se faz em solo seco. Em geral, o aspersor utilizado é do tipo canhão, com alcance superior a 30 m, pressão de operação superior a 300 kPa e o setor angular de cobertura superior a 180º.

Irrigação localizada

A irrigação localizada ou microirrigação compreende a aplicação de água em apenas uma fração da área cultivada, em alta frequência e baixo volume, mantendo a umidade do solo na zona radicular das plantas. Em cultivos perenes, a área máxima molhada não deve superar 60% da área total cultivada, enquanto a área mínima molhada deve ser aproximadamente 20% nas regiões de clima úmido e 30% nas de clima árido e semiárido. A redução dessa área molhada exposta à atmosfera reduz a perda de água por evaporação direta do solo (Lamm; Camp, 2007).

Os sistemas de microirrigação podem ser classificados de alta vazão (16 a 150 L h^{-1}) e de baixa vazão (inferior a 16 L h^{-1}). Os sistemas de alta vazão incluem os por microaspersão e por difusão, e os de baixa vazão, o gotejamento.

Microaspersão

Na microaspersão, denominam-se microaspersores quando os emissores de água possuem algum tipo de elemento giratório que distribui a água, acionado pela própria pressão desta, e denominam-se difusores quando os emissores possuem algum tipo de placa difusora fixa para pulverizar e distribuir a água.

Em solos arenosos e na irrigação de cultivos arbóreos, a utilização de microaspersores é, em geral, mais vantajosa que a de gotejadores, além do que são menos susceptíveis à obstrução e menos exigentes em filtragem da água. Entretanto, operam a pressões de 100 a 250kPa e vazões de 30 a 300 L h^{-1} e, portanto, aumentam o consumo de energia em comparação aos gotejadores.

Gotejamento

A irrigação por gotejamento é um sistema de baixa vazão que pode utilizar tubos gotejadores, microtubos, cintas de exsudação e os gotejadores conectados sobre o tubo. Os gotejadores são emissores projetados para dissipar a energia de pressão da água e aplicar pequenas vazões na forma de gotas (Figura 1C).

Existem duas categorias gerais de linhas laterais de gotejamento: as fitas emissoras e os tubos emissores, ambos de polietileno. Fitas são tubos colapsáveis, de parede fina, com emissores tipo labirinto ou orifício, integrados à parede interna do tubo ou estampados internamente na costura do tubo. Já os tubos emissores são mais rígidos e mais caros do que as fitas, têm paredes mais espessas e os emissores podem ou não ser pré-instalados (Evans; Wu; Smajstrala, 2007).

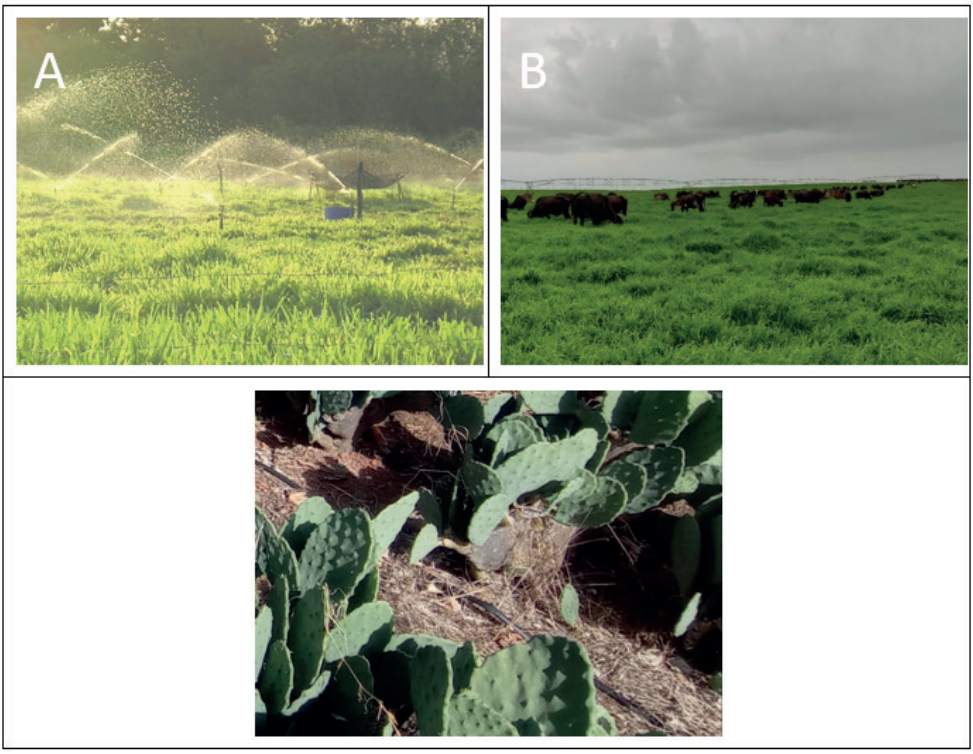

Figura 1. (A) Sistemas de aspersão fixo permanente, (B) sistema pivô central e (C) irrigação localizada por gotejamento.

Manejo da irrigação de plantas forrageiras

O uso racional da água em um projeto de irrigação de culturas forrageiras demanda conhecimento de diferentes fatores relacionados à interrelação solo-planta-clima, objetivando-se máxima resposta econômica na produção de forragens, com minimização de custos e reduzidos impactos ambientais.

Nesse sentido, a técnica de irrigação em plantas forrageiras deve-se balizar nas respostas precisas de quando irrigar (momento correto de aplicação da água às forrageiras, trata-se de aspectos agronômicos, a partir de características do solo e da planta), quanto irrigar (definição e aplicação da lâmina adequada, que proporcionará o retorno da umidade do solo na profundidade efetiva das raízes às condições de capacidade de campo); e como irrigar (o sistema/método que melhor atenda às

condições de cultivo da planta forrageira, o nível tecnológico/financeiro do produtor, a viabilidade econômica de uso dessa ferramenta, melhor uso do recurso água etc.).

Objetivando-se elevada uniformidade e alta eficiência do sistema de irrigação, devem ser realizadas avaliações, manutenções preventivas e corretivas, além de ajustes demandados no sistema de irrigação, sem perder de vista as eficiências demandadas nos manejos do solo e da planta forrageira para garantir máxima produção de forragem por volume de água aplicado.

Face ao exposto, fica explícita a relevância da adequada gestão do manejo da irrigação, fato que exige o conhecimento de algumas terminologias e conceitos aplicados, fundamentais na quantificação e suprimento das exigências hídricas das plantas forrageiras, aplicando-se a lâmina de água certa (irrigação real necessária – IRN), no momento correto.

Não é objetivo dos autores aprofundar os conceitos e terminologias apresentados, para tal, o leitor pode buscar mais detalhes em literaturas específicas da área de irrigação, como Bernardo et al. (2019). No presente capítulo será apresentada sucintamente uma aplicação dos conceitos no dia a dia do manejo da irrigação e que serão adotados em um exemplo posteriormente.

Conceitos aplicados relacionados ao armazenamento de água no solo e ao manejo da irrigação

Numa área vegetada, o solo armazena água de acordo com os seus atributos. A água armazenada no solo e disponível às plantas encontra-se num intervalo de umidade que varia da capacidade de campo (CC) ao ponto de murcha permanente (Pm).

Pode-se definir Capacidade de Campo como o teor de água no solo depois que o excesso de água tenha drenado e a taxa de movimento dessa água ao longo do perfil do solo tenha sensivelmente diminuído ou cessado. Portanto, o solo atinge a capacidade de campo quando seu gradiente de potencial mátrico do solo se iguala ao gradiente do potencial gravitacional, ocasionando equilíbrio à água do solo. Já no ponto de murcha permanente, o solo chegará a um teor de água no qual uma planta em crescimento ativo perde a turgescência das folhas e não se recupera, mesmo quando colocada em ambiente escuro com atmosfera saturada. Tal fato, pode ser observado quando o gradiente de potencial hídrico da planta se iguala ao potencial total do solo.

Em suma, a capacidade de campo é a máxima quantidade de água que o solo pode reter sem causar danos ao sistema e o ponto de murcha permanente é o ponto em que a água já não se encontra mais disponível para as plantas. Em laboratório, pode-se determinar o teor de água em uma amostra indeformada na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, aplicando-se a essa amostra tensão de -5,88 e -1500 kPa, respectivamente.

A disponibilidade total de água no solo (DTA), representa o armazenamento de água no solo entre a CC e o Pm. Seu cálculo, expresso em mm de água para uma profundidade unitária (cm), é feito desde que se conheçam os valores de CC, Pm e Dg, conforme a equação 1.

$$DTA = \frac{(CC - Pm)}{10} \times Dg \quad (1)$$

Onde DTA é a disponibilidade total de água (mm cm $^{-1}$); CC é a capacidade de campo (% massa); Pm é o ponto de murcha permanente (% massa); e Dg é a densidade do solo (g cm^{-3}).

A capacidade de água disponível (CAD) é o conteúdo de água entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente em uma determinada profundidade "z". Essa profundidade deve corresponder à profundidade efetiva do sistema radicular, ou seja, a profundidade de solo onde se concentram cerca de 80% do total de raízes da cultura de interesse. O cálculo da CAD é feito pela equação 2.

$$CAD = DTA \times z \quad (2)$$

Onde CAD é a capacidade total de água no solo (mm); DTA: disponibilidade total de água (mm cm $^{-1}$); e z é a profundidade efetiva do sistema radicular (cm).

Quando o conteúdo de água no solo na zona radicular é inferior a um valor crítico, poderá ocorrer a limitação da evapotranspiração a valores menores que a potencial, e a ETc diminuirá proporcionalmente à quantidade de água remanescente na zona radicular. Dessa forma, a quantidade máxima de água que um cultivo pode extrair do solo sem ocorrer estresse hídrico, denomina-se água facilmente disponível (AFD), expressa pela equação 3.

$$AFD = CAD \times f \quad (3)$$

Onde AFD é a água facilmente disponível no solo (mm); CAD é a capacidade total de água no solo (mm); f é o fator de depleção de água no solo.

O fator de depleção f está relacionado com a capacidade total de água disponível no solo (CAD) que a planta pode extrair sem sofrer estresse hídrico. Em geral, o fator f varia de 0,30 para plantas de raízes pouco profundas e altas taxas de ETc a 0,7 ou mais para plantas de raízes profundas e baixas taxas de ETc.

A irrigação real necessária, IRN, é a quantidade de água necessária para suprir a evapotranspiração da cultura (ETc). Essa demanda hídrica pode ser suprida em parte ou em sua totalidade pela precipitação efetiva. Outras variáveis também podem ser consideradas para o atendimento dessa demanda, como a ascensão capilar (AC) oriunda do lençol freático e as variações do armazenamento de água no solo (ΔA, mm) durante determinado período, podendo-se expressar a IRN pela equação 4 com todos os termos em mm:

$$IRN=ETc-PE-AC-\Delta A \quad (4)$$

Para fins práticos de irrigação, considera-se a evapotranspiração da cultura (ETc) e a precipitação efetiva (PE) como os dois termos de maior importância na equação 4. Dessa forma, o IRN pode ser descrito de forma simplificada pela equação 5.

$$IRN=ETc-PE \quad (5)$$

Como mencionado anteriormente, cada solo possui uma capacidade máxima de armazenamento de água para disponibilizar às culturas. Dessa forma, a máxima irrigação real necessária (IRN_{max}), ou a máxima lâmina líquida de irrigação a ser aplicada ao solo, depende da capacidade do solo em armazenar água e disponibilizá-la para as plantas em uma taxa que atenda a evapotranspiração da cultura e deve ter seu valor máximo igual a AFD, resultando na equação 6.

$$IRN_{max}=AFD=CAD\times f \quad (6)$$

O solo possui capacidade de armazenar determinada quantidade de água, e a reposição desta deve ser realizada quando o volume de água consumido pelas culturas for próximo ou igual ao volume de água armazenado. Dessa forma, a relação entre a IRN_{max} e a máxima demanda de evapotranspiração da cultura, ETc, define o período entre irrigações. Ou seja, o turno de rega máximo (TR), ou mínima frequência

de irrigação, é o máximo número de dias entre duas irrigações sucessivas e pode ser calculado pela equação 7.

$$TR = \frac{IRN_{max}}{ETc} \quad (7)$$

Onde TR é o turno de rega (dias); IRN_{max} é a irrigação real necessária (mm); ETc é a evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1}).

Lâmina líquida e lâmina bruta de irrigação

A lâmina líquida de irrigação é dada pela demanda hídrica da cultura em um determinado período, subtraído da precipitação efetiva, quando houver, conforme equação 8.

$$LL = ETc - Pe \quad (8)$$

Onde LL é a lâmina líquida de irrigação (mm); ET_c é evapotranspiração da cultura, (mm dia^{-1}); P é precipitação efetiva (mm).

Em condições de campo, vários fatores podem influenciar na lâmina líquida aplicada ao solo. Fatores como evaporação, percolação e deriva podem afetar a eficiência de aplicação da irrigação. Por esse motivo, devem-se aplicar lâminas adicionais de irrigação para compensar as perdas de água, bem como para promover a lixiviação do excesso de sais na zona radicular. Considerando-se que a eficiência de aplicação de água (Ea) contabiliza a perda total de água na parcela, a irrigação total necessária ou lâmina bruta (LB) pode ser expressa pelas equações 9 e 10.

$$ITN = \frac{IRN}{Ea} \quad (9)$$

$$LB = \frac{LL}{Ea} \quad (10)$$

A eficiência de aplicação varia de 90 a 95% para métodos de irrigação localizada (microaspersão e gotejamento) e de 80 a 90% para métodos de irrigação por aspersão convencional (Mantovani; Bernardo; Palaretti, 2009). Ressalta-se que a eficiência de aplicação está diretamente relacionada com a uniformidade do sistema de irrigação. Sistemas com problemas de entupimento, mal dimensionados

e com vazamentos podem apresentar eficiência de aplicação inferior às citadas anteriormente.

Intensidade de aplicação e tempo de irrigação

A intensidade de aplicação refere-se à lâmina de água aplicada pelo aspersor por unidade de tempo. O valor da intensidade de aplicação dos emissores utilizados na irrigação deve ser inferior à velocidade de infiltração básica do solo (VIB), para evitar o escoamento superficial da água de irrigação.

Na irrigação por aspersão, deve-se ter cuidado na escolha do aspersor que será utilizado, levando em consideração a intensidade do aspersor e a VIB do solo. Pode-se estimar a intensidade do aspersor pela equação 11.

$$Ia = \frac{Q}{E1 \times E2} \times 1000 \quad (11)$$

Onde Ia é a intensidade de aplicação, (mm h^{-1}); Q é a vazão do aspersor, (m^3 h^{-1}); E1 é o espaçamento entre linhas laterais (m); E2 é o espaçamento entre aspersores, (m).

O tempo de irrigação é a relação da lâmina bruta com a intensidade de aplicação do aspersor, sendo este obtido utilizando-se a equação 12.

$$Ti = \frac{LB}{Ia} \quad (12)$$

Onde Ti é o Tempo de irrigação (h); LB é a lâmina bruta (mm); Ia é a intensidade de aplicação, (mm h^{-1}).

Métodos para o manejo da irrigação em plantas forrageiras

No manejo da água aplicada para as culturas forrageiras (definindo-se a quantidade e o momento de aplicação), podem ser utilizados diferentes métodos, como o manejo pelo turno de rega calculado, manejo por balanço hídrico no solo, manejo por monitoramento da umidade ou potencial mátrico do solo e manejo por monitoramento do estado hídrico da planta. O manejo da irrigação com base em monitoramento do estado hídrico da planta, embora reflita a real condição do estado hídrico da cultura, por ainda estar em fase experimental, não será abordado.

Manejo pelo turno de rega calculado

Este método não é criterioso para fins de manejo da irrigação, embora seja muito utilizado. O manejo da irrigação por este método é realizado determinando-se previamente o intervalo entre irrigações, dividindo-se a IRN pela ETc (equação 7), para cada estádio de desenvolvimento da cultura. É função da CAD do solo, das condições climáticas e da cultura. A umidade ideal do solo para se efetuar a irrigação θ_{CR} deve ser determinada na curva de retenção de água do solo, utilizando-se o potencial mátrico recomendado para a cultura (potencial mátrico crítico). Não se conhecendo os valores críticos de umidade do solo ou o potencial mátrico crítico, pode-se utilizar o fator de depleção.

Manejo por balanço hídrico no solo

Este método baseia-se no balanço de água no solo, considerando-se os fluxos de água que entram (irrigação, precipitação efetiva e ascensão capilar) e os fluxos que saem (evapotranspiração e percolação profunda), desconsiderando-se a entrada e a saída por escoamento superficial, que podem ser minimizadas aplicando-se a água em intensidade adequada. Também deve-se minimizar a percolação profunda quando não há necessidade de lixiviar sais no perfil do solo. A ascensão capilar em geral pode ser desprezada. Dessa forma, o manejo da irrigação pode ser feito pela determinação da ETc diária da cultura ou pela soma do consumo nos dias anteriores, subtraindo-se a precipitação efetiva desde a data da última irrigação.

De modo geral, para fins de aplicação do balanço hídrico, há a necessidade de se conhecer a quantidade de água facilmente disponível (AFD) no solo, a precipitação e a ETc diária. O balanço hídrico considera que após a irrigação o solo está com umidade na capacidade de campo (armazenamento de água completo) e, a partir daí, a ETc é subtraída e a precipitação somada. Quando o consumo atingir a irrigação real necessária (IRN, AFD), realiza-se a irrigação, aplicando-se a lâmina bruta (ou volume bruto) prevista.

Para o entendimento do manejo da irrigação é importante entender os conceitos de evapotranspiração de referência (ETo), coeficiente de cultivo (Kc) e evapotranspiração da cultura (ETc).

O conceito de evapotranspiração potencial (ETo) foi proposto em 1948 por Thornthwaite, como sendo a quantidade máxima de água utilizada por uma extensa área vegetada, com cultura em crescimento ativo, cobrindo totalmente o terreno, em condições ótimas de umidade do solo.

A ETo pode ser determinada por métodos diretos, através de lisímetros ou balanço de água no solo. A ETo também pode ser estimada por métodos indiretos empíricos e teóricos. Entre estes métodos, serão abordados o método de Penman-Monteith e o método do Tanque classe A.

No primeiro caso, utilizam-se dados meteorológicos obtidos instantaneamente numa estação agrometeorológica alocada o mais próximo possível da área de cultivo. A partir do modelo original apresentado no boletim FAO 56 (Allen et al., 1998), a FAO apresentou algumas características para a cultura de referência, adotando-se altura de 0,12 m, rs de 70 s m^{-1} e albedo de 0,23, aplicando-se a equação 13.

$$ETo = \frac{0{,}408.\Delta.(Rn - G) + \gamma.\frac{900}{T+273}u_2.(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma\,(1 + 0{,}34.u_2)} \quad (13)$$

Onde ETo: evapotranspiração referência (mm dia^{-1}); Rn: radiação líquida na superfície vegetal (MJ m^{-2} dia^{-1}); G: densidade de fluxo de calor no solo (MJ m^{-2} dia^{-1}); T: temperatura média do ar a 2 m de altura(°C); u_2: velocidade do vento a 2 m de altura (m s^{-1}); e_s: pressão de saturação de vapor (kPa); e_a: pressão atual de vapor (kPa); Δ: declividade da curva de pressão de vapor (kPa $^oC^{-1}$); γ: constante psicrométrica (kPa $^oC^{-1}$); e 0,408: fator de conversão do termo (Rn - G), de MJ m^{-2} dia^{-1} para mm dia^{-1}.

No segundo caso, a determinação da ETo com o tanque Classe A constitui-se num dos métodos mais simples e viáveis, pois trata-se de um equipamento com valor acessível até mesmo para o pequeno produtor. Trata-se de um tanque circular construído em chapas de aço galvanizado ou inox, com diâmetro de 120,7 cm e 25 cm de profundidade, sendo instalado sobre estrado de madeira em nível, com 15 cm de altura, de preferência em área gramada, com recomendação de manutenção do nível da água entre 5,0 e 7,5 cm abaixo da borda (Allen et al., 1998).

O método consiste na obtenção de leituras de evaporação do tanque (ECA, mm) e do coeficiente do tanque (kp), conforme a seguinte a equação 14.

$$ETo = K_p \times ECA \quad (14)$$

O coeficiente Kp pode ser determinado em função da velocidade média do vento (U2), da umidade relativa média (UR) e do tamanho da bordadura (B). Geralmente, considera-se B um valor constante, correspondente à distância entre o tanque e o limite da bordadura de grama (Tabela 1).

Tabela 1. Coeficientes de tanque (Kp) conforme as condições ambientais, velocidade do vento (m s^{-1}), tamanho da bordadura (m) e umidade relativa do ar (UR %)

Vento (m s^{-1})	Bordadura de grama (m)	UR %		
		Baixa	Média	Alta
		< 40	40 – 70	> 70
Leve < 2	0	0,55	0,65	0,75
	10	0,65	0,75	0,85
	100	0,70	0,80	0,85
	1000	0,75	0,85	0,85
Moderado 2 – 5	0	0,50	0,60	0,65
	10	0,60	0,70	0,75
	100	0,65	0,75	0,80
	1000	0,70	0,80	0,80
Forte 5 – 8	0	0,45	0,50	0,60
	10	0,55	0,60	0,65
	100	0,60	0,65	0,70
	1000	0,65	0,70	0,75
Muito Forte > 8	0	0,40	0,45	0,50
	10	0,45	0,55	0,60
	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,55	0,60	0,65

Fonte: Modificado de Doorenbos; Pruitt (1977).

O coeficiente de cultivo (Kc) é um ajuste para o componente vegetal da ETo, obtendo-se a ETc. Os valores de Kc, que para diferentes culturas podem ser obtidos em Allen et al. (1998), ou Tabela 2, referem-se às plantas que se desenvolvem em condições ótimas de cultivo, sem estresse hídrico, sem pragas e doenças, sem estresse por salinidade do solo e da água, e solo com ótima fertilidade, permitindo atingir o seu potencial produtivo.

Tabela 2. Coeficientes de cultivo (Kc) de algumas plantas forrageiras

Cultura	Kc				Referência
Tanzânia	1,20				Barbosa et al. (2015)
Mombaça	1,06				Mota et al. (2020)
Tanzânia	1,30				Rodrigues et al. (2011)
Mombaça	1,09				Sanches et al. (2017)
Marandu	1,07				Sanches et al. (2017)
Cynodon dactylon	0,99				Sanches et al. (2017)
Capim-elefante	1,20				Carvalho (2014)
Marandu	1,10				Souza et al. (2021)
Tifton 85	1,07				Santana et al. (2016)
Marandu	1,20				Souza (2017)
Palma forrageira cv. Orelha de elefante mexicana	0,52				Queiroz et al. (2016)
Opuntia ficus-indica	0,78				Divincula et al. (2019)
Palma forrageira cv. Baiana	0,70				Lima et al. (2021a)
Palma forrageira cv. miúda	0,70				Lima et al. (2021a)
Cunhã	1,30				Oliveira et al. (2013)
Soja	1,18				Farias (2020)
	I	II	III	IV	
Milho	0,90	1,20	1,00	0,50	Souza et al. (2015)
Milho	0,50	0,64	1,12	1,11	Santos et al. (2014)
Milho	0,76	0,82	1,04	0,58	Souza et al. (2012)
Sorgo	0,54	0,83	0,94	0,70	Lima et al. (2021b)
Sorgo	0,49	0,82	1,13	0,98	Fonseca Neto (2013)
Sorgo	0,70	1,20	1,80	1,20	Schwenck et al. (2020)

A Evapotranspiração da cultura (ETc) é definida como a perda total de água, pelos processos simultâneos de evaporação e transpiração, que ocorre de uma cultura qualquer, em qualquer fase de seu desenvolvimento, sem a atuação de fatores que possam comprometer seu desenvolvimento, como a ocorrência de pragas e doenças, deficiências nutricionais, deficiência hídrica e estresse salino (Doorembos; Pruitt, 1977). A ETc, descrita na equação 15, é determinada experimentalmente utilizando-se lisímetros ou evapotranspirômetros cultivados com a cultura em condições padrões.

$$ETc=Kc \times ETo \quad (15)$$

Manejo baseado no monitoramento da umidade do solo

Em resposta à dificuldade de se estimar ou medir a quantidade de água no solo, têm sido empregado métodos empíricos para a medição desta variável, havendo vários descritos na literatura (Carvalho; Oliveira, 2012), como umidade gravimétrica, métodos das pesagens (métodos diretos), blocos de resistência elétrica, sensor *watermark*, sonda *hydrosense*, moderação de nêutrons, tensiômetros, reflectometria no domínio do tempo – TDR (métodos indiretos). Neste tópico será abordado o método tensiométrico, pela sua praticidade e baixo custo.

O método tensiométrico permite determinar a umidade do solo indiretamente, a partir da tensão com que a água está retida no solo, requerendo para se quantificar a umidade, o conhecimento da curva característica de retenção de água no solo (Figura 2A), que possibilita correlacionar o potencial matricial (Ψm) com a umidade do solo (θ). As curvas características de retenção de água dos solos de Quixadá e Tejuçuoca (Figura 2A) apresentaram diferenças, demonstrando a dinâmica diferenciada da água em cada tipo de solo e ratificando a maior capacidade de retenção e armazenamento de água do solo do município de Tejuçuoca, em relação ao de Quixadá. As diferenças nos padrões das curvas características devem-se às variações nos parâmetros físicos (porosidade total e densidade do solo) e matéria orgânica dos solos (Lopes, 2016).

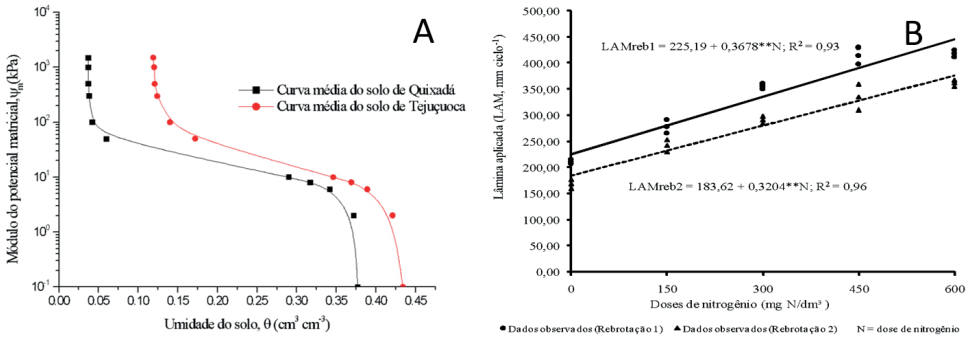

Figura 2. Curvas características de retenção de água no solo nas regiões de Quixadá-CE e Tejuçuoca-CE (A) e lâmina de irrigação em função da adubação nitrogenada em pasto de Capim-massai (B).

Fonte: Lopes (2016) e adaptado de Lopes et al. (2011).

A importância do criterioso manejo da irrigação, podendo ser realizado por meio de tensiometria é ratificado no estudo de Lopes et al. (2011), que avaliaram o Capim-massai sob doses crescentes de nitrogênio em casa de vegetação e acompanharam a demanda hídrica da forrageira em função da elevação no suprimento deste nutriente.

No estudo de Lopes et al. (2011), verificou-se que a lâmina de água aplicada (LAM) variou de 225,19 a 445,87 mm ciclo^{-1} (rebrotação 1) e de 183,62 a 375,86 mm ciclo^{-1} (rebrotação 2) para as doses de nitrogênio de 0 a 600 mg dm^{-3} de solo, respectivamente. Com a dose nitrogênio de 600 mg dm^{-3} de solo, a LAM foi aumentada em 98,0 e 104,7%, nas rebrotações 1 e 2, respectivamente, em relação ao tratamento que não recebeu adubação nitrogenada (Figura 2B).

O aumento na lâmina aplicada com a elevação dos níveis de nitrogênio é justificado pelos autores como sendo o efeito desse nutriente sobre a produção de biomassa aérea, principalmente a biomassa de lâmina foliar verde, resultando em maior área de folha, com maior superfície e maior taxa de transpiração foliar, potencializando o consumo de água da comunidade vegetal e consequentemente demandando maior suprimento hídrico para o adequado funcionamento fisiológico da forrageira.

Exemplo de aplicação

Para exemplificar a utilização do manejo de irrigação em função da determinação da ETo com o Tanque classe A, será utilizado o intervalo entre irrigações

de três dias. Dessa forma, a demanda hídrica desses três dias será somada para determinação da lâmina de irrigação (Tabela 3).

Para o exemplo, o tanque classe A está instalado sobre superfície gramada com 10 m de bordadura. As leituras da evaporação do tanque classe A (ECA) foram realizadas com intervalos de 24 horas. A velocidade do vento a 2 m de altura (U2) foi obtida com anemômetro digital e a umidade relativa com higrômetro digital. Para determinação do Kp utilizaram-se dados da Tabela 1 e para determinação do Kc do Capim-mombaça utilizaram-se dados da Tabela 2.

Tabela 3. Determinação da evapotranspiração de referência pelo método do tanque classe A

DAC	ECA	U2	UR	Kp	ETo	Kc	ETc
	(mm)	(m s-1)	(%)		(mm)		(mm)
21	4,39	1,7	50	0,75	3,29	1,2	3,59
22	4,41	1,8	45	0,75	3,30	1,2	3,61
23	4,98	1,8	39	0,65	3,24	1,2	3,53
						Total	10,72

Como durante o período avaliado não houve precipitação, a lâmina líquida será igual ao somatório da ETc dos três dias, totalizando 10,72 mm. Sabendo-se que a eficiência do sistema de irrigação utilizado foi de 85%, o cálculo da lâmina bruta pode ser obtido utilizando-se a equação 10.

Intensidade de aplicação e tempo de irrigação

$$LB = \frac{10{,}72mm}{0{,}85} = 12{,}61\ mm$$

Utilizando-se aspersores com espaçamento de 12 x 12 m e com vazão de 940 L h^{-1}, pode-se calcular a intensidade de aplicação pela equação 11:

$$Ia = \frac{940}{12 \times 12} = 6{,}5\ mm/h$$

Considerando-se a lâmina bruta calculada e a intensidade de aplicação, pode-se estimar o tempo de irrigação para aplicar a lâmina de irrigação, utilizando-se a equação (12).

$$Ti = \frac{12{,}61}{6{,}5} = 1{,}93\ horas\ ou\ 1h\ e\ 55\ minutos$$

Dessa forma, para aplicar a lâmina bruta de 12,61 mm em um sistema com intensidade de aplicação de 6,5 mm h^{-1}, demandará 1 hora e 55 minutos.

Aspectos econômicos da irrigação de pastagens

O uso da irrigação necessita que investimentos sejam realizados, tornando necessário, estudos da viabilidade econômica da sua adoção. Diversos fatores influenciam a tomada de decisão sobre a possibilidade de irrigar ou não a pastagem, visando ao aumento na produção e qualidade da forragem e do lucro da atividade. Ao optar pelo uso da irrigação, é necessário analisar cuidadosamente os riscos, buscando-se sempre maiores rendimentos e menores custos de produção (Vilas Boas et al., 2011).

No desenvolvimento do sistema de irrigação é comum abordar de forma isolada a análise econômica, dimensionamento, planejamento e construção, porém para se fazer um manejo adequado é preciso que todos esses aspectos sejam levados em consideração de maneira conjunta e interligada (Alves Júnior et al., 2018).

Muitas vezes o sistema de irrigação é superdimensionado devido à falta de critérios adequados ou até mesmo por querer reduzir demasiadamente os riscos da falta de água para as plantas, elevando-se os custos de implantação do sistema. Outras vezes, a busca por sistemas de irrigação mais baratos leva ao dimensionamento com bombas de menor potência, que por sua vez obriga a ter mais setores de irrigação, com menos emissores por setor, o que pode não ser compatível com as características do solo da área a ser irrigada. A avaliação dos custos com irrigação no sistema produtivo é importante para estimar os custos e o retorno econômico esperado e assim gerar informações necessárias para saber se é rentável ou não o uso de irrigação (Vilas Boas et al., 2011).

Os estudos em plantas forrageiras avaliando o efeito da irrigação sobre a produção de biomassa têm enfatizado que maiores lâminas de irrigação contribuem para o aumento na produção de forragem (Alencar et al., 2009; Mota et al., 2010; Santos, 2018). É importante mencionar que nem sempre a maior produção de forragem em pastagens irrigadas implicará em aumento no lucro da atividade pecuária, sendo indispensáveis estudos sobre a viabilidade econômica do uso da irrigação para subsidiar melhor a tomada de decisão pelos produtores.

Ao avaliar, durante dois anos consecutivos, a produção de forragem do Capim-sudão (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf) manejado sob diferentes lâminas de irrigação (0; 25; 50; 75; 100 e 125% da ETo), Mezzomo et al. (2020b) relataram que a produção de forragem aumentou até a lâmina 100% da ETo, havendo redução na produção na lâmina de 125% da ETo. Alencar et al. (2009), estudando seis lâminas de irrigação (0; 18; 45; 77; 100 e 120% da ETo), mencionaram que para as espécies Xaraés (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés), Tanzânia (*Panicum maximum* cv. Tanzânia) e Estrela (*Cynodon nlemfuensis* cv. Estrela) a máxima produção de forragem foi obtida nas lâminas 80; 80 e 74% da ETo, respectivamente.

Os autores dos trabalhos supracitados destacaram que o excesso de água via irrigação pode aumentar os custos de produção e os impactos ambientais devido ao desperdício de água e energia.

Estudos sobre a viabilidade econômica da aplicação de maiores lâminas de irrigação em plantas forrageiras e em pastagens ainda são escassos e precisam ser conduzidos para averiguar o retorno econômico do aumento na produção de forragem em áreas irrigadas. Já há estudos desse tipo para outras culturas, como o Café (Oliveira et al., 2010), Cebola (Vilas Boas et al., 2011) e Pimenta-verde (Lima et al., 2016).

Ao realizar simulações da viabilidade econômica do uso de irrigação em pastagens de Capim-tanzânia em diferentes regiões do Brasil, Pinheiro (2002) relatou rentabilidade variando de R$ +770,00 e R$ -140,00 ha^{-1} ano^{-1} devido a diferenças no preço da arroba da carne, do manejo adotado e das condições edafoclimáticas. Para esse autor, fica evidente que a decisão de usar ou não a irrigação deve ser avaliada para cada situação.

Torres et al. (2019), avaliando a viabilidade econômica do uso de diferentes lâminas de irrigação (0; 25; 50; 75; 100 e 125% da ETo) na produção de forragem de Milheto (*Pennisetum americanum*) na cidade de Santiago, RS, observaram aumento de 13,42% nos custos totais quando se adotou a irrigação, mas o retorno econômico foi de 43,03% quando se utilizou a lâmina de 125% da ETo, em comparação com sistema sem irrigação, devido a maior produção de forragem.

Em Sorgo forrageiro com as mesmas lâminas de irrigação e pastejado por bovinos, para ganhos de 1,0 e 1,5 kg $animal^{-1}$ dia^{-1} o retorno econômico do uso de irrigação com lâmina de 100% da ETo foi de 60 e 56%, quando comparado com a pastagens de sequeiro (Kirchner et al., 2019). Mezzomo et al. (2020a) relataram receita líquida 61% superior para o capim-sudão irrigado (aplicando lâmina de 100% da ETo) sob pastejo frente ao mesmo sistema em sequeiro, na média de dois anos, considerando um rebanho de bovinos ganhando 1,0 kg $animal^{-1}$ dia^{-1}.

Ao avaliar três projetos de irrigação: padrão (tubulações bem dimensionadas); superior ao padrão (em relação ao diâmetro das tubulações) e inferior ao padrão (em relação ao diâmetro das tubulações) para a cultura do Sorgo e pastagem, onde em cada projeto foi considerada uma área de 10 hectares irrigados por aspersão convencional, Pitombeira (2021) relatou que o custo total em investimentos para linhas de irrigação foi menor no projeto inferior ao padrão, devido ao menor gasto com o sistema de irrigação. O autor observou, que o custo total com investimento dos componentes foi menor nesse projeto, pois os custos com tubulações foram menores (30,63% menor em comparação ao projeto padrão), sendo que o maior custo com tubulações foi observado no projeto superior ao padrão, devido o maior diâmetro das tubulações encarecer o produto.

Para os indicadores da viabilidade dos projetos estudados, Pitombeiras (2021) observou que a melhor taxa interna de retorno foi observada para o Sorgo (18,97%), em comparação à pastagem (16,27%) e o menor tempo de retorno do investimento realizado ocorreu na área com Sorgo (5 anos), enquanto para a pastagem o *payback* foi de 6 anos.

Nesse mesmo sentido, Thomaz et al. (2015), avaliando a viabilidade financeira da implantação de um sistema de irrigação por aspersão em área de soja (40 ha), Milho (6 ha) e *Cynodon* sp. destinado à fenação (6 ha), estimaram produção por hectare de 51 sacas de Soja, 250 sacas de Milho e 2.666 fardos de feno com o uso da irrigação, possibilitando uma taxa interna de retorno do sistema de 73,67%, com um *payback* de 1 ano, 5 meses e 10 dias. Assim, os autores concluíram ser viável a implantação do sistema de irrigação.

Os estudos demonstram que o uso correto da irrigação permite elevar a viabilidade econômica do sistema produtivo, sendo que outros fatores devem ser considerados, como as condições de clima e solo do local, a planta a ser irrigada, o tipo de manejo a ser adotado, a eficiência de conversão alimentar do rebanho etc.

Considerações finais

O planejamento financeiro do uso da irrigação como estratégia para aumentar a eficiência de sistemas forrageiros produtivos deve ser feito em consonância com a cultura, métodos e manejo da irrigação. Com base nisso, fica evidente que a água, elemento fundamental para emprego desse sistema, deve ser considerada quanto aos aspectos de qualidade que otimizem o desenvolvimento das culturas forrageiras. Com as mudanças climáticas, a ocorrência de períodos de estiagem mais longos nas

diferentes regiões do Brasil tem demandado ações voltadas para o uso eficiente da água. Com isso, a busca por estratégias de reuso de águas em propriedade rurais devem ser consideradas como possibilidades em projetos de irrigação para plantas forrageiras.

Em algumas propriedades rurais no país, a única fonte de água disponível apresenta teores de sais elevados, sendo consideradas salobras ou salinas e consequentemente impróprias para irrigação. Nesse caso, o uso desse tipo de água deve ser associado a técnicas de dessalinização e manejo do solo e da cultura, para que a irrigação possa ser justificada sem causar danos aos sistemas produtivos. Normalmente essa situação de teores elevados de sais na água ocorre em maior frequência com águas subterrâneas em regiões semiáridas, acrescentando-se nestas regiões algumas fontes de água superficiais, como lagos e açudes com grande espelho d'água.

A busca pelo uso eficiente da irrigação perpassa pela correta aplicação da lâmina de irrigação de acordo com as necessidades de cada cultura e com os demais fatores envolvidos no sistema. Ajustar o coeficiente da cultura de acordo com o estádio de desenvolvimento da planta é importante para o ajuste fino na aplicação da lâmina de irrigação adequada a cada fase do ciclo de produção de forragem. Nas pesquisas com irrigação de plantas forrageiras, a determinação desses coeficientes de cultura específicos para os cultivares recém-lançados no mercado também é fundamental para propiciar avanços no uso eficiente da irrigação.

Por fim, há que se considerar as preocupações quanto à eficiência de uso da água na propriedade e por conseguinte aquela usada na irrigação. O mercado que absorve os produtos de origem animal tornar-se-á cada vez mais exigente em informações sobre os aspectos ligados ao ambiente de produção. Em alguns sistemas que usam a irrigação como tecnologia, as demandas pela rastreabilidade dos produtos (pegada de carbono, pegada hídrica etc.) já se iniciaram. Assim, saber a quantidade e informações atreladas a cada litro de água utilizado para cada quilograma de produto produzido (leite, carne etc.), quer seja na forma de consumo direto ou indireto (para produção de forragem), passará a ser obrigação nas cadeias produtivas.

Referências

ALENCAR, C. A. B.; OLIVEIRA, R. A.; COSER, A.C. et al. Produção de seis gramíneas manejadas por corte sob efeito de diferentes lâminas de irrigação e estações anuais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 6, p. 680-686, 2009.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 300p. (FAO - Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALVES JUNIOR, J.; SALES, D. L. A.; PEREIRA, R. M. Viabilidade econômica da irrigação por pivô central nas culturas de soja, milho e tomate. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 22, e201703, 2018.

BARBOSA, B. D. S.; OLIVEIRA, F. G.; FIGUEIREDO, F. P. Determinação do coeficiente de cultivo (Kc) do capim-tanzânia irrigado no Norte de Minas Gerais. **Irriga**, v.1, n. 2, p. 11-20, 2015.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; DA SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. 9.ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2019. 545p.

CARVALHO, G. B. **Caracterização da produção de biomassa de capim-elefante (Pennisetum purpureum, Schum.), cv. Cameroon, em função da adubação nitrogenada e irrigação em região semiárida**. 2014, 179p. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. (Dissertação de Mestrado em Irrigação e Drenagem), 2014.

CARVALHO, D. F.; OLIVEIRA, L. F. C. **Planejamento e manejo da água na agricultura irrigada**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2012. 240p.

DANTAS, S. F. A.; LIMA, G. F. C.; MOTA, E. P. Viabilidade econômica da produção de palma forrageira irrigada e adensada no semiárido Potiguar. **Revista iPecege**, v. 3, n. 1, p. 59-74, 2017.

DIVINCULA, J. S.; SILVA, C. B.; SANTOS, M. A. L. et al. Crop coefficient and water requirement of prickly pear in the Agreste region of Alagoas state, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, n.12, p.925-929, 2019.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO - IrrigationandDrainagePaper, 24).

EVANS, R. G.; WU, I. P.; SMAJSTRALA, A. G. **Microirrigation systems**. In: HOFFMAN, G. J.; EVANS, R. G.; JENSEN. M. E.; MARTIN, D. L.; ELLIOTT, R.L. Design and operation of farm irrigation systems. St. Joseph: ASABE, 2007. p.632-683.

FARIAS, D. B. S. **Coeficientes técnicos para simulação e manejo de irrigação em soja sob déficit hídrico**. 2020, 112f. Universidade Federal de Viçosa. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola), 2020.

FONSECA NETO, J. **Evapotranspiração, crescimento e produção do sorgo em cultivo irrigado na região do Baixo Açu – RN**. 2013, 87f. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. (Dissertação de Mestrado em Irrigação e drenagem), 2013.

KIRCHNER, J. H.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. M. X. et al. Viabilidade financeira da irrigação em sorgo forrageiro em sistema de aspersão para bovinocultura de corte. **Irriga**, v. 24, n. 1, p. 143-161, 2019.

LAMM, F. R; CAMP, C. R. **Subsurface drip irrigation**. In: LAMM, F. R.; AYARS, J. E.; KAKAYAMA, F. S. Microirrigation for crop production: design, operation, and management. Developments in Agricultural Engineering. Amsterdam: Elsevier, 2007, p.473- 551.

LIMA, A. S.; SILVA, P. F.; MATOS, R. M. et al. Consumo hídrico e exigência térmica da palma forrageira em ambiente semiárido. **Irriga**, v.1, n.1, p.110-128, 2021a.

LIMA, G. F. C.; CUNHA, M. V.; MEDEIROS, J. F. et al. **Irrigação em palma forrageira**. In: SANTOS, M. V. F.; CARVALHO, F. F. R.; FERREIRA, M. A. (eds). Palma forrageira: potencial e perspectivas. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica, 2022. p.307-340.

LIMA, J. G. A.; SOBRINHO, J. E.; MEDEIROS, J. F. et al. Water requirement and crop coefficients of *sorghum* in Apodi Plateau. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.25, n.10, p.684-688, 2021b.

LIMA, V. M.; LIMA JUNIOR, J. A.; GUSMÃO, S. A. L. et al. Viabilidade econômica da produção de pimentinha-verde submetida a diferentes lâminas de irrigação. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 59, n. 4, p. 326-332, 2016.

LOPES, M. N.; CÂNDIDO, M. J. D.; POMPEU, R. C. F. F.; SILVA, R. G.; LOPES, J. W. B.; BEZERRA, F. M. L. Biomass components in Massai grass during establishment and regrowth under five nitrogen fertilization levels. **Revista Brasileira de Zootecnia,** v.40, n.8, p.1629-1637, 2011.

LOPES, M. N. **Ecofisiologia, nutrição e análise econômica da palma forrageira sob diferentes manejos no Semiárido brasileiro.** 2016. 327f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Zootecnia, Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia, Fortaleza, 2016.

MACEDO, V. H. M.; LAGE FILHO, N. M.; CUNHA, A. M. Q. et al. Agrometeorological and agronomic characterization of Megathyrsus grasses cultivated in tropical humid and semi-arid conditions: a multivariate approach. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 1-14, 2022.

MALAVOLTA, E. **Elementos de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Ceres. 1ª Ed. 1980. 252p.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: Princípios e Métodos**. Viçosa: UFV. 2009. 355p

MEZZOMO, W.; PEITER, M. X.; ROBAINA, A. D. et al. Economic viability of conventional sprinkler irrigation in sudan grass production for beef cattle. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, n. 2, p. 622-642, 2020a.

MEZZOMO, W.; PEITER, M. X.; ROBAINA, A. D. et al. Produção forrageira e eficiência de utilização da água do capim Sudão submetido a diferentes lâminas de irrigação. **Irriga**, v. 25, n. 1, p. 143-159, 2020b.

MOTA, V. J. G.; REIS, S. T.; SALES, E. C. J. et al. Lâminas de irrigação e doses de nitrogênio em pastagem de capim-elefante no período seco do ano no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.6, p.1191-1199, 2010.

MOTA, V. J. F.; CARVALHO, A. J.; OLIVEIRA, F. G. Determinação do coeficiente de cultura do capim-Mombaça manejado em diferentes estações do ano no semiárido mineiro. **Irriga**, v. 25, n. 1, p. 170-183, 2020.

OLIVEIRA, E. L.; FARIA, M. A.; REIS, R. P. et al. Manejo e viabilidade econômica da irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro Acaiá considerando seis safras. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.5, p.887-896, 2010.

OLIVEIRA, G. M.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; SANTOS, I. M. S. et al. Evapotranspiração e coeficiente de cultura da forrageira cunhã (*Clitoria ternatea* L.) para diferentes fases fenológicas e épocas do ano. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável,** v. 8, n. 2, p. 203-209, 2013.

PIMIENTA-BARRIOS, E.; HERNÁNDEZ, J. Z.; MUÑOZ-URIAS, A. et al. Ecophysiology of young stems (cladodes) of *Opuntia ficus-indica* in wet and dry conditions. **Gayana Botanica**, v. 69, n. 2, p. 232-239, 2012.

PINHEIRO, V. D. **Viabilidade econômica da irrigação de pastagem de capim Tanzânia em diferentes regiões do Brasil**. 2002, 85p. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. (Dissertação de mestrado em Agronomia). 2002.

PITOMBEIRA, E. S. **Viabilidade de projetos de irrigação para o projeto público de irrigação Tabuleiros de Russas/CE**. 2021. 87f. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará. (Trabalho de Conclusão de Curso de graduação em Agronomia). 2021.

PORTO, E. R.; PAULINO, R. V.; MATOS, A. N. B. **Comportamento da erva-sal (Atriplex nummularia) irrigada com água de alta salinidade**. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM., 2003, Juazeiro. Anais... Juazeiro: ABID; Governo da Bahia, 2003.

POMPEU, R. C. F. F.; CÂNDIDO, M. J. D.; NEIVA, J. N. M. et al. Desempenho de ovinos em capim-tanzânia sob lotação rotativa com quatro proporções de suplementação concentrada. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.61, n.5, p.1104-1111, 2009.

QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S. et al. Relações hídrico-econômicas da palma forrageira cultivada em ambiente semiárido. **Irriga**, Edição Especial, Irrigação, p. 141-154, 2016.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres, 1991. 343 p. REVISTA RURAL. Área irrigada total no Brasil é de 8,2 milhões de hectares. 02 mar. 2021. Disponível em: http://https://www.revistarural.com.br/2021/03/02/area-irrigada-total-no-brasil-e-de-82-milhoes-de-hectares/ Acesso em 06 mar. 2023.

RODRIGUES, B. H. N.; ANDRADE, A. C.; MAGALHÃES, J. A. et al. **Evapotranspiração e coeficiente de cultura do capim-Tanzânia**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 23 p.

SANCHES, A. C.; SOUZA, D. P.; JESUS, F. L. F. et al. Consumo de água de forrageiras tropicais no período deformação de pastagem. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 2, p. 1291-1301, 2017.

SANTANA, M. J.; WACHSMUTH, R. SGOBI, M. A. et al. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do Tifton-85 em Uberaba, MG. **Global Science and Technology,** v.09, n.03, p.39 -50, 2016.

SANTOS, M. G. **Capim Marandu sob lâminas de irrigação e doses de nitrogênio: resposta agronômica e simulação do rendimento de forragem usando o modelo CROPGRO-Perennial Forage**. 99p. 2018. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista. (Tese de Doutorado em Ciência do Solo). 2018.

SANTOS, W. O.; SOBRINHO, J. E.; MEDEIROS, J. F. et al., **Irriga**, v. 19, n.4, p. 559-572, 2014.

SCHWNCK, V. A. X.; QUEIROZ, L.; GARCIA, A. D. B. et al. Coeficiente de cultura por lisímetria da variedade de sorgo forrageiro SF–15 (*Sorghum Bicolor* L. Moench). **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 14, n. 2, p. 3960–3967, 2020.

SILVA, R. G.; NEIVA, J. N. M.; CÂNDIDO, M. J. D. et al. Aspectos comportamentais e desempenho produtivo de ovinos mantidos em pastagens de capim-tanzânia manejado sob lotação intermitente. **Ciência Animal Brasileira**, v. 8, n. 4, p. 609-620, 2007

SOUZA, A. P.; LIMA, M. E.; CARVALHO, D. F. Evapotranspiração e coeficientes de cultura do milho em monocultivo e em consórcio com a mucuna-cinza, usando lisímetros de pesagem. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.1, p.142-149, 2012.

SOUZA, D. P. **Consumo de água, relações hídricas e biométricas em dois sistemas de cultivo irrigado de *Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*) cv. Marandu**. 2017, 147p. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. (Dissertação de Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas), 2017.

SOUZA, D. P.; SANCHES, A. C.; MENDONÇA, F. C. et al. Crop coefficient of marandu palisade grass: an approach involving leaf area index and canopy height. **Irriga**, v. 26, n. 4, p. 924-937, 2021.

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C. et al. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura do milho e feijão-caupi em sistemas exclusivo e consorciado. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 151-160, 2015.

TORRES, R. R.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X. et al. Economic of the irrigated production of forage millet. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 2, p. 623-638, 2019.

THOMAZ, J. L. P.; ALBERTON, J. R.; KRONBAUER, C. A. Viabilidade financeira em sistema de irrigação: um estudo em uma propriedade rural da Serra gaúcha – RS. **Espacios**, v. 36, n. 5, p.1-19, 2015.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v.38, n.1, p.55-94, 1948.

VILAS BOAS, R. C.; PEREIRA, G. M.; REIS R. P. et al. Viabilidade econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura da cebola. **Ciência e Agrotecnologia**,v. 35, n. 4, p. 781-788, 2011.

VOISIN, A. **Adubos - Novas leis científicas de sua aplicação**. São Paulo, Mestre Jou, 1973. 130 p.

VOLTOLINI, T. V.; CAVALCANTE, A. C. R.; MISTURA, C. et al. **Pastos e manejo do pastejo em áreas irrigadas**. In: VOLTOLINI, T. V. (Org.). Produção de Caprinos e Ovinos no Semiárido. 1ed. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2012, v. , p. 265-297.

07

Adubação de pastagens tropicais

Janerson José Coelho[1]
Márcio Vieira da Cunha[2]
Toni Carvalho de Souza[2]
Dayanne Camelo[2]
Antônio Leandro Chaves Gurgel[3]

Introdução

O solo é o alicerce da vida na terra e dentre as funções mais importantes atua como reservatório de água e nutrientes para as plantas, e como suporte para a vida de diversos organismos habitantes do solo. Dos nutrientes extraídos da solução do solo 17 são atualmente considerados essenciais, e na sua ausência a planta não completa o seu ciclo vital. Esses elementos têm comprovada participação no metabolismo da planta, e não podem ser substituídos por outro com propriedades semelhantes. Nos vegetais, os elementos essenciais atuam na estrutura, metabolismo e na osmorregulação celular (Taiz e Zeiger, 2017).

Em um ecossistema de pastagens, a forragem colhida pelo animal em pastejo contém aproximadamente 8-12% do peso total composta por nutrientes

1 Universidade Estadual do Maranhão. janersoncoelhozoo@gmail.com.
2 Universidade Federal Rural de Pernambuco. marcio.cunha@ufrpe.br; dayannecamelo@gmail.com; tonicarvalho.ba@gmail.com.
3 Instituto Federal do Piauí. antonioleandro09@gmail.com.

minerais (Melesse *et al.*, 2017), entre eles nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, cálcio, magnésio, ferro, manganês, zinco, cobre, boro, molibdênio, cloro e níquel (Epstein e Bloom, 2006). O solo é a fonte primária para a maioria destes nutrientes essenciais às plantas, exceto o nitrogênio que tem a atmosfera (N_2) como seu principal reservatório. Por outro lado, a distribuição destes nutrientes não é uniforme na superfície terrestre e a quantidade de nutrientes disponíveis na solução do solo e em forma lábil (disponível para absorção pelas plantas), em geral, não é naturalmente suficiente para atender às demandas de crescimento de planta cultivadas, sendo necessário fazer adubação continuadamente.

Deve-se levar em consideração que cada colheita ou pastejo numa determinada área, tem a capacidade de exportar esses nutrientes minerais contidos na forragem, por exemplo, fenos, silagens, carne e leite. Em um ecossistema de pastagens, grandes quantidades de nutrientes são exportadas pela colheita de forragem, sendo essa quantidade dependente da disponibilidade no solo, da espécie cultivada, idade da planta, número de colheitas. Apesar da ocorrência de reciclagem de nutrientes em pastagens, entre 70 e 90% dos nutrientes consumidos pelos ruminantes, a deposição das excretas também não ocorrem de maneira uniforme, concentrando-se em maior quantidade onde o crescimento da forrageira é reduzido ou nulo (sombras, próximo das aguadas, pontos de suplementação e cercas). A contínua extração de nutrientes sem reposição pode levar ao esgotamento e degradação do solo, provocando uma menor taxa de crescimento das plantas forrageiras e aumento na área de solo descoberto, favorecendo a ocorrência de plantas invasoras e a degradação das pastagens.

Neste contexto, este capítulo abordará os principais aspectos associados a fertilização de pastagens, desde as principais características do solo que influenciam na fertilização, macro e micronutrientes, análise de solo, leis e conceitos de fertilização, e o manejo do pastejo e sua relação com a fertilização de pastagens.

Solos: conceitos básicos e sua relação com fertilidade

Pela definição da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (Santos *et al.*, 2018) "*o solo é a coleção de corpos naturais, tridimensionais, dinâmicos, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas*".

Em termos gerais, o solo que vemos hoje é o resultado contínuo do processo de intemperismo ocorrido sobre a rocha matriz ao longo das eras, bem como pelas atividades mais recentes, em especial as associadas com as atividades humanas como a agropecuária. Os principais fatores de intemperismo são a rocha matriz (material de origem), clima, tempo, topografia e relevo, biosfera e ação humana. O processo de intemperismo não ocorreu ou ocorre de forma uniforme na superfície terrestre, o que ocasiona uma diversidade de solos com diferentes características físico-químicas, microbiológicas, topográficas, de classe textural, profundidade, bem como com diferentes tipos de vegetações predominante. Ao pensar a fertilização de pastagens, deve-se levar em consideração que o tipo e classe de solos são diversos, o que suscinta uma abordagem específica para cada um deles.

Os solos são encontrados com diversos tipos de profundidades dos mais rasos (<0,20 cm) aos mais profundos (>2,0 m), sendo no geral, subdividido em horizontes de acordo com o grau de intemperismo, composição físico-química e estrutural. As atividades voltadas ao manejo de fertilização, no geral, são direcionadas aos horizontes mais próximos da superfície do solo como o horizonte orgânico e o solo superficial. O tipo e profundidade do sistema radicular, também são utilizados como parâmetro para a área de solo a ser trabalhada. Deve-se levar em consideração que o solo é composto de quatro componentes (material mineral, água, ar, e matéria orgânica). O componente mineral, envolve todo material não-orgânico sólido, podendo ser íons, micropartículas, até cascalhos e rochas. Em termos de fertilização do solo, deve-se avaliar a classe textural, em especial, as percentagens de areia, silte e argila. A argila é o componente do solo que tem maior capacidade de reter cargas, logo funciona como uma espécie de reservatório para estocar os nutrientes utilizados pelas plantas. Silte e areia possuem baixa capacidade de reter cargas quando comparadas à argila ou a material orgânica (húmus).

A água do solo atua como mediadora de reações que controlam a retenção e movimento de substâncias. Entre os processos influenciados ou mediados pela água do solo podemos citar hidrólise e hidratação; oxidação e redução (ganho e perda de elétrons), complexação, adsorção e dessorção, transporte de nutrientes, difusão, fluxo de massa, capilaridade, potencial osmótico, entre outros envolvidos no dinamismo de nutrientes e partículas no solo. Deve-se avaliar o regime hídrico da região ou localidade onde o solo será fertilizado, bem como seu potencial para irrigação. Em relação aos gases do solo, esses são influenciados pela textura e grau de compactação, sendo encontrados solos mais aeróbios ou solos em completa anaerobiose (por exemplo, áreas alagadas). No geral, os gases do solo têm papel

fundamental nos processos de óxido-redução, acidificação do solo, fixação de N_2 atmosférico e na composição microbiológica do solo.

A matéria orgânica do solo, pode compreender desde o húmus até os ecossistemas estabelecidos sob o solo. O húmus, que é formado pela decomposição da matéria orgânica, é uma mistura complexa e recalcitrante de substâncias amorfas, de características coloidais com capacidade de reter cargas. A matéria orgânica do solo, também atua como um reservatório permanente de nutrientes e estoque de C e N. Considerando a serrapilheira ou a matéria orgânica em decomposição, essas funcionam como uma espécie de estoque de nutrientes de lenta liberação no solo. Podem ser considerados como parte da matéria orgânica no ecossistema de pastagens, todos os organismos vivos presentes na mesma, pois esses têm o potencial de contribuir com a material orgânica no solo, seja por senescência, morte ou excreção/secreção. Enquanto vivos, os organismos desempenham diversas funções que influenciam nas transformações do solo e ciclagem de nutrientes. Os organismos do solo podem ser incluídos os microrganismos, a vegetação e a fauna.

Os microrganismos do solo incluem uma diversidade de bactérias, fungos, arqueas, vírus e líquens, esses desempenham diversas funções que influenciam na nutrição de plantas e na ciclagem de nutrientes. Entre as principais funções dos microrganismos do solo podemos citar a decomposição da matéria orgânica, mineralização e imobilização de nutrientes, formação de agregados no solo, intemperismo do solo (decomposição da rocha), produção de húmus, fixação biológica do nitrogênio (N_2) (bactérias), formação de micorrizas (fungos), produção de hormônios, circulação de nutrientes no solo, solubilização de fosfatos, transformações nos ciclos biogeoquímicos de nutrientes, doenças (causas e prevenção), biodegradação de compostos tóxicos as plantas, produção de enzimas catalizadoras, entre outros (Cardoso e Andreote, 2016).

No ecossistema de pastagem, a vegetação e a fauna (doméstica e silvestre), influenciam diretamente na composição, distribuição e ciclagem da matéria orgânica do sistema. O tipo de vegetação, por exemplo, defini a velocidade de decomposição da serrapilheira. Os animais pastejadores influenciam diretamente na ciclagem de nutrientes pelo consumo da vegetação, velocidade de degradação da matéria orgânica no trato digestivo, e distribuição da excreta sob o solo.

Ao avaliar uma área de solo a ser fertilizada, seja durante o estabelecimento ou com a pastagem já estabelecida, deve-se levar em consideração diversos fatores e indicadores como o tipo de solo, textura, porosidade, estrutura de agregados, compactação, potencial de oxido-redução, pH, capacidade de troca de cátions (CTC), teor de matéria orgânica do solo, concentração dos nutrientes/íons, vegetação, clima

da região, umidade do solo, microbiota do solo, meso e macrofauna (pastejadores), vegetações prévias e histórico da área.

Macro e micronutrientes: funções na planta e suas fontes

Os nutrientes são elementos essenciais para o crescimento de plantas e animais. Estes podem são classificados em três grupos: estruturais, macronutrientes e os micronutrientes. Os elementos estruturais são absorvidos pelo ar e água (Tabela 1), e formam a base orgânica das plantas. Os macronutrientes podem ser subdivididos em primários e secundários, sendo os primários, absorvidos pelas plantas em maiores quantidades, que os secundários. Os micronutrientes, são os elementos minerais requeridos em menores quantidades. Existem também, elementos benéficos que não são essenciais para as plantas (Suryawanshi, 2020).

Tabela 1. Elementos minerais essenciais e benéficos para as plantas

Classificação	Elementos
Elementos estruturais	Carbono (C), Hidrogênio (H) e Oxigênio (O)
Macronutrientes primários	Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K)
Macronutrientes secundários	Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S)
Micronutrientes	Boro (B), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo) e Zinco (Zn)
Elementos benéficos	Sódio (Na), Silício (Si) e Cobalto (Co)

Para um elemento ser essencial, deve satisfazer a três requisitos: a planta não consegue completar seu ciclo na ausência do elemento; o elemento está diretamente envolvido com o metabolismo da planta; a função que o elemento desempenha não pode ser substituído por outro elemento (Malavolta, 1980). Já para um elemento ser considerado benéfico deve: eliminar os efeitos tóxicos de outros elementos; substituir um elemento essencial em alguma função menos especifica e são essenciais apenas para algumas plantas.

As principais funções desempenhas pelos nutrientes são:

1) Estruturais: fazem parte da estrutura de compostos orgânicos vital para a planta;
2) Constituintes de enzimas: fazem parte de uma estrutura específica;
3) Ativadores enzimáticos: ativam ou inibem enzimas, afetando a velocidade de muitas reações no metabolismo da planta (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2. Forma de absorção, abundância relativa, funções e sinais de deficiência dos macronutrientes

Elemento	Forma de absorção	Concentração na matéria seca (μmol g^{-1})	Função na planta	Deficiência	Fertilizante inorgânicos
N	NH_4^+ NO_3^-	1000	Constituinte de proteínas, enzimas, clorofila e ácidos nucléicos	Clorose	Ureia, Sulfato de amônia, Nitrato de cálcio e Nitrato de amônia
P	$H_2PO_4^-$, HPO_4^{-2} PO_4^{-3}	60	Constituinte de proteínas, coenzimas, ácidos nucléicos e substâncias de reserva; importante na produção de energia e crescimento radicular	Folhas de cor púrpura	Superfosfato simples, Superfosfato triplo, Termofosfatos, Fosfato monoamônico e Fosfato diamônico
K	K^+	250	Componente das paredes celulares; desempenha um papel na permeabilidade das membranas; formação e o amadurecimento dos frutos	Lâmina foliar apresenta clorose e nervura central de cor verde. Pequenas manchas brancas ou manchas amarelas nas margens das folhas.	Cloreto de potássio, Sulfato de potássio, Sulfato de potássio e magnésio e Nitrato de potássio
Ca	Ca^{+2}	125	Componente das paredes celulares; permeabilidade das membranas	Necrose foliar. Folhas novas deformadas	Calcário calcítico, Calcário magnesiano, calcário dolomítico e cal extinta
Mg	Mg^{+2}	80	Ativador enzimático, componente da clorofila; atua no metabolismo energético	Clorose nas margens e nervuras	Sulfato de magnésio, sulfato duplo de potássio e magnésio, termofosfato magnesiano, calcário dolomítico.
S	SO_4^{-2}	30	Componente das proteínas e participa da síntese de compostos orgânicos	Folhas novas apresentam clorose	Gesso agrícola, sulfato de amônia, sulfato de potássio, sulfato de magnésio.

Concentrações na matéria seca (μmol g^{-1}): fonte: Epestein e Bloom (2005); Miller (2014).

Tabela 3. Forma de absorção, abundância relativa, funções e sinais de deficiência dos micronutrientes

Elemento	Forma de absorção	Concentração na matéria seca (μmol $g^{-1)}$	Função na planta	Deficiência	Fertilizante químico
Cl	Cl^-	3,0	Envolvido na produção de oxigênio e fotossíntese	Murchamento e clorose nas folhas mais novas	
Fe	Fe^{+2}	2,0	Envolvido na síntese de clorofila, componente e ativador enzimático	Clorose internerval nas folhas jovens	Sulfato ferroso e óxido ferroso
B	BO_3^-	2,0	Translocação de açúcar, metabolismo de carboidratos e multiplicação celular	Folhas com cor marrom-escuras e lesões irregulares	Bórax (Borato de sódio ou Tetraborato de sódio)
Mn	Mn^{+2}	1,0	Controla diversas reações de óxido-redução; formação da clorofila; formação do ácido ascórbico	Manchas marrom-escuras ou vermelhas e clorose internerval nas folhas mais jovens	Sulfato de manganês e óxido de manganês
Zn	Zn^{+2}	0,3	Atua no crescimento das plantas pela sua participação na formação do ácido indolacético	Folhas de cor branco-acinzentadas e clorose internerval	Sulfato de Zinco
Mo	MoO_4^-	0.001	Envolvido na fixação de N e nas transformações de nitrato para o amônio	Manchas pontilhadas nas folhas e clorose nas nervuras	Molibdato de sódio
Ni	Ni_2^+	0.001	Funções enzimáticas, germinação	Necrose	
Cu	Cu^{+2}	0.1	Catalizador da respiração, componente de enzimas	Clorose e acamamento	Sulfato de cobre

Nota: A adubação orgânica é considerada uma das principais formas de fornecer microminerais, visto que são requeridos em menores quantidades, bem como pelo fato da maioria dos fertilizantes inorgânicos convencionais não serem comercializados com formulações de microelementos. O fornecimento de microelementos via matéria orgânica, também reduz os riscos superdosagem e toxidez.

Os macronutrientes ocorrem em concentrações de 10 a 5.000 vezes superior à dos micronutrientes (Tabelas 2 e 3). E a sua quantidade exigida pelas plantas varia em função da produção de matéria seca e dos seus teores no material vegetal. De modo geral, as exigências totais obedecem à seguinte ordem decrescente:

Macronutrientes: N > K > Ca > Mg > P = S
Micronutrientes: Fe > Mn > Zn > B > Cu > Mo

Os nutrientes disponíveis encontram-se na solução do solo, após sofrerem dessorção das partículas de argila e húmus, sendo absorvidos pelas raízes das plantas. Os nutrientes também podem ficar armazenados (indisponíveis temporariamente) nos minerais do solo, matéria orgânica do solo, microrganismos, tecido vegetal e animal, material vegetal senescente, excrementos animais e na atmosfera. Os solos tornam-se deficientes em nutrientes devido à lixiviação e outros processos de perdas, bem como pela extração pelas culturas agrícolas. A correção dessa deficiência é realizada pela aplicação de fertilizantes inorgânicos e orgânicos, sendo necessária uma prévia análise de solo, para compreender o grau de deficiência e a necessidade para cada cultura.

Análise de solo: seleção do local, amostragem e preparo solo

Como vimos anteriormente, os nutrientes são essenciais para o desenvolvimento das plantas. Esses nutrientes estão em sua maioria no solo, assim, para saber a disponibilidade de cada um para as plantas realiza-se a análise do solo para conhecer suas características químicas e físicas. É um procedimento que permite tomar decisões importantes como o planejamento da aplicação de corretivos e fertilizantes antes da implantação e/ou adubação de manutenção das pastagens. Para o sucesso da recomendação de corretivos e fertilizantes, é necessário que sejam coletadas amostras que representem adequadamente a área.

A amostragem de solo pode se iniciar dividindo a pastagem em áreas homogêneas. Essas áreas devem ser semelhantes em termos de: declividade, cobertura vegetal, textura, cor, drenagem e fertilização anterior. Após feito isso, a coleta das amostras ocorre em pontos distribuídos ao acaso, sendo que a área deve ser percorrida em zigue-zague. Pode ser usado um trado, enxada ou pá para coletar de 15 a 20 pontos diferentes em cada área. Evita-se retirar amostras em áreas próximas de residências, galpões, formigueiros, currais, depósitos de lixos, áreas de concentração

de animais na pastagem, estradas e depósitos de adubos para que não haja alteração na amostra de solo. As amostras podem ser coletadas em duas profundidades, 0-20 cm, camada de solo com maior volume de raiz da maioria das plantas cultivadas, e de 20-40 cm, camadas subsuperficial tornando a interpretação da fertilidade do solo mais precisa. Os pontos amostrados misturados em um balde limpo para produção de uma amostra composta, retirando uma amostra de aproximadamente 500 gramas, sendo armazenada em um saco plástico identificado para enviar ao laboratório. A amostragem pode ser realizada em qualquer época do ano. Recomenda-se repetir esse procedimento a cada 2-3 anos, porém dependendo do grau de tecnificação da área análises mais regulares podem ser necessárias (Cardoso, Fernandes e Fernandes, 2009).

É essencial que a análise de solo forneça ao menos informações sobre pH, P-disponível, saturação por bases, níveis de H+Al, matéria orgânica, e CTC. Eventualmente análises mais completas podem fornecer os níveis de outros macros e microminerais do solo. Uma vez que se tem a análise de solo, pode-se realizar a recomendação de correção. Uma das correções mais realizada é o ajuste do pH para a faixa ideal de crescimento da cultura. A acidez do solo afeta o crescimento das plantas, diminuindo a eficiência de uso de nutrientes. A faixa ideal do pH do solo varia para cada cultura, a maioria fica entre 6-6,5. A correção do pH pode ser feita através da aplicação e incorporação do calcário. A calagem possui vários benefícios como fornecer Ca e Mg, aumentar a capacidade de troca catiônica, e neutralizar o alumínio do solo. A aplicação do calcário deve ocorrer pelo menos 2 meses antes do plantio, para dar tempo deste reagir com o solo, essencialmente o solo deve estar úmido. Outra correção bastante comum é a gessagem que tem como objetivo neutralizar o alumínio, e assim aumentar o sistema radicular das plantas. Isso permite as plantas explorarem um maior volume de solo, melhorando a captação de nutrientes e água, o que as torna mais produtivas. O gesso também é fonte de Ca e S.

Outro manejo importante é o preparo da área, no caso de estabelecimento de pastagens, técnicas como aração, gradagem e subsolagem podem ser utilizadas. A gradagem aradora ocorre de forma mais profunda, com o objetivo de revolver o solo, reduzindo a compactação e incorporando a cobertura vegetal. A gradagem niveladora reduz o tamanho dos torrões e nivela os sulcos, com o objetivo de preparar o solo para o plantio. Realizada logo antes do início das chuvas, geralmente usa-se também para incorporar o calcário e o gesso durante o processo. O número de gradagens depende da textura, compactação do solo e declividade. A gradagem também é utilizada no manejo de conservação do solo com intuito de evitar a erosão. Essa

técnica de conservação é feita pela marcação das curvas de nível e construção de terraços, em áreas com declividade acima de 3%.

Seja no estabelecimento das culturas ou na adubação de manutenção, a fertilização deve se basear nos resultados da análise do solo, bem como no grau de intensificação do manejo da pastagem.

Leis gerais e princípios da fertilização de pastagens

As leis gerais da fertilização de pastagens derivam da compreensão e aplicação de vários conceitos e princípios básicos associados à nutrição vegetal, eficiência do uso de nutrientes, conservação do solo, preservação ambiental e economia agrícola. A princípio, o manejador de pastagens deve ter em mente que a demanda nutricional da cultura forrageira depende de uma série de fatores ligados a absorção, remoção e exportação de nutrientes pela espécie forrageira. Bem como a fatores ligados ao solo como o teor de nutrientes e sua disponibilização (macro e micronutrientes), tipos e características do solo, tipos de fertilizantes utilizados (inorgânicos ou orgânicos), períodos de crescimento da cultura (curva de crescimento), ciclagem de nutrientes entre outros fatores presentes nas pastagens. As leis gerais da fertilização devem ser aplicadas em qualquer situação ou contexto de fertilização de pastagens ou capineiras, independente da espécie forrageira, sistema de produção ou tipos de fertilizantes utilizados.

As leis gerais de fertilização incluem as leis do mínimo (Liebig), dos incrementos decrescentes (Mitscherlich), e a lei do máximo, que é uma derivação da lei dos incrementos decrescentes. A lei do mínimo ou de Liebig, foi proposta pelo químico alemão Justos Von Liebig (1803-1873), onde postulou-se que "*os rendimentos das culturas agrícolas são limitados pelo nutriente (macro ou micronutriente) que estiverem em menor concentração e/ou disponibilidade no solo*". Uma forma de compreender bem essa lei é através da visualização do barril de Liebig (Figura 1), onde observa-se que a produtividade representada pela água dentro do barril, jamais atingirá seu máximo devido determinados nutrientes estarem em níveis abaixo dos requerimentos da cultura. Neste sentido, o manejador de pastagens deve ter em mente que, não basta apenas aplicar formulações contendo alguns nutrientes, por exemplo NPK, e esperar que planta forrageira produza seu máximo potencial. Como visto anteriormente, estima-se em torno de 17 elementos químicos essenciais para crescimento e produtividade das plantas forrageiras (N, P, K, Ca, Mg, S, Bo, Cl, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, Ni). Outros elementos essenciais, porém, não-minerais, incluem aqueles

que formam os compostos orgânicos e a água (C, H, O), captados pela absorção de água ou via fixação fotossintética. Faz-se necessário a disponibilidade de todos os nutrientes para a planta atinja seu máximo de produção.

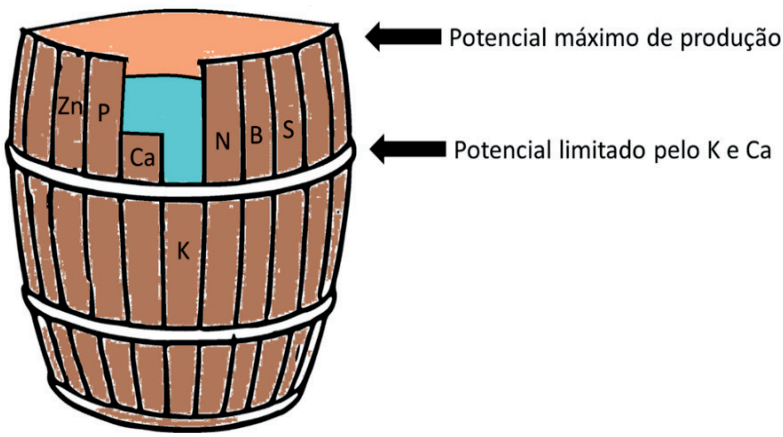

Figura 1. Barril de Liebig, com representação do potencial máximo de produção (barril cheio), e da limitação de produção pela deficiência do elemento K e Ca.

Já a lei dos incrementos decrescentes, que foi proposta pelo cientista agrícola alemão Eilhard Alfred Mitscherlich (1874–1956), postulou que "*ao aplicar doses crescentes de um nutriente, o aumento na produção vegetal é elevado inicialmente, porém decresce sucessivamente em aplicações subsequentes*". Essa lei pode ser compreendida observando o exemplo hipotético na Figura 2, onde a produtividade inicial da forragem foi de 8 t ha/ano para uma aplicação de 100 kg N ha/ano, o que equivale a uma razão de 80 kg de forragem para cada 1 kg de N aplicado, no entanto, ao dobrar a dose para 200 kg N ha/ano, a produtividade de forragem foi de 12 t ha/ano, uma equivalência de 60 kg de forragem para cada 1 kg de N aplicado, e assim sucessivamente. Esse decréscimo nos ganhos em produção de forragem à medida que aumentaram as doses de N aplicado evidencia que há um limite, tanto fisiológico da planta, quanto do sistema (solo-planta), bem como econômico, para a dosagem ideal do fertilizante aplicado.

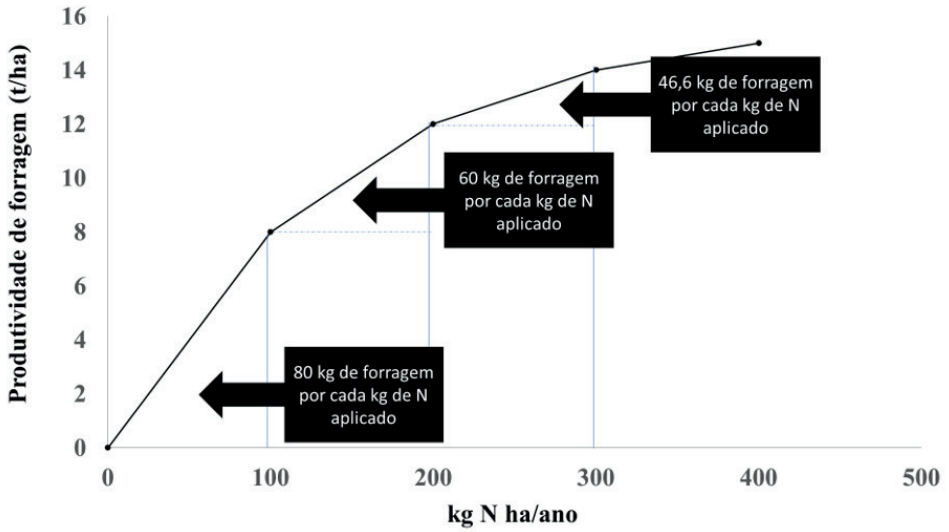

Figura 2. Lei dos incrementos decrescentes (lei de Mitscherlich).
Exemplo: Produtividade de forragem (t ha/ano) em função de doses crescentes de N (kg ha/ano).

A lei do máximo ocorre de uma derivação da lei dos incrementos decrescentes, onde o excesso de um nutriente no solo, dentro de uma determinada faixa, pode reduzir a produtividade de uma espécie forrageira. Após atingir o platô de resposta produtiva (Figura 2), a curva de resposta à adubação torna-se descendente, inclusive diminuindo a produtividade forrageira. Essa redução na produtividade ocorre por diversos fatores ligados ao excesso, como toxidez direta as plantas e antagonismo de nutrientes no solo. A aplicação da lei do máximo também pode estar ligada a fatores econômicos (dose do fertilizante versus ganho em produtividade), teor de um determinado nutriente de interesse acumulado ou não na forragem, e pelo impacto ambiental. No que se refere aos aspectos econômicos, nem sempre é vantajoso explorar o máximo dos incrementos de produção em função da dosagem de um nutriente ou fertilizante. Em termos fisiológicos da planta, bem como ambientais, a aplicação em excesso de um determinado nutriente, por exemplo um micronutriente essencial (Cu e Zn), pode causar problemas de toxidez as plantas, ou mesmos impactos ambientais de sua acumulação do solo, cursos de água e nos organismos (NAGAJYOTI *et al.* 2010).

Neste sentido, o manejador de pastagens ao trabalhar a fertilização, deve levar em consideração essas 3 leis, buscando atender as demandas nutricionais das

plantas forrageiras com precisão, para atingir níveis adequados de produtividade, bem como evitar impactos ambientais e elevados custos de fertilização.

Adubação inorgânica e biofertilização de pastagens

Características básicas de fertilizantes inorgânicos e biofertilizantes

A adubação das pastagens pode ser realizada utilizando-se uma diversidade de fertilizantes inorgânicos, orgânicos (biofertilizantes), ou organominerais. Os fertilizantes inorgânicos ou minerais, tem em sua essencialidade a ausência de compostos orgânicos em sua composição. Esses fertilizantes inorgânicos são produzidos por diversos processos extrativos de rochas, por exemplo, P obtido de rochas fosfáticas (apatita); físico-químico industriais, por exemplo, Haber-Bosch para fixação do N via síntese de amoníaco (NH_3); ou através da incineração de materiais orgânicos. Os fertilizantes inorgânicos podem ser encontrados em variadas formas (granulado, encapsulado, pó de rochas, moídos, diluídos), bem como em diferentes composições, indo de fertilizantes mais simples, com apenas um elemento mineral fornecido, por exemplo o K_2O, ou compostos como o sulfato de amônio $(NH_4)_2SO_4$, que fornece N e S simultaneamente. No caso dos fertilizantes orgânicos, esses possuem como característica geral a presença de compostos orgânicos (CHO), degradados ou não degradados. Nestes fertilizantes os elementos minerais podem estar imobilizados na matéria orgânica, associados, bem como dissolvidos (biofertilizantes líquidos digeridos).

Entre os principais fertilizantes orgânicos ou biofertilizantes incluem: esterco animal, resíduos vegetais e traços culturais (serrapilheira, palhada), resíduos orgânicos agroindustriais e domésticos, biofertilizantes aeróbicos e anaeróbicos, composto e vermicomposto, entre outros. Biofertilizantes são caracterizados por possuírem uma quantidade diversificada de elementos químicos essenciais, podendo conter em quantidades diversas todos os elementos necessários ao crescimento de uma planta (COELHO *et al.*, 2018). A presença em quantidades variadas de metais pesados ocorre em determinados biofertilizantes. A forma e composição química de cada elemento presente nos biofertilizantes é bastante diversa, por exemplo, o N pode estar na forma de aminoácido, NH_3, NH_4^+, N_2O, aderido às partículas indigestíveis de fibra, entre outras formas. Como caraterística única da maioria dos biofertilizantes, ocorre uma alta presença de microrganismos em sua composição, destacam-se a presença de bactérias, fungos e arqueais (COELHO *et al.*, 2020). A ausência ou baixa presença de microrganismos em biofertilizantes ocorre em situações em que esses são

esterilizados ou oriundos de processos ultra térmicos ou de alta pressão. A presença de microrganismos nos biofertilizantes pode ter efeitos benéficos como a presença de bactérias promotoras de crescimento ou fungos micorrízicos, ou deletérios como a presença de patógenos (WONG *et al.*, 2015).

Biofertilizantes *in natura* ou não digeridos, possuem como característica comum a presença de polímeros como celulose, hemicelulose e amido, e em geral, possuem uma disponibilização lenta dos elementos minerais presentes em sua matéria orgânica. Por outro lado, biofertilizantes curtidos ou biodigeridos, possuem menores teores de compostos fibrosos e outros polímeros, o que favorece uma maior velocidade de disponibilização dos elementos químicos para as plantas. A biodisponibilidade de cada elemento químico presente nos biofertilizantes pode ser muito variável, dependendo de uma série de fatores como teor do elemento no biofertilizante, material de origem, antagonismos e sinergismos com outros elementos e compostos químicos, pH do biofertilizante, potencial-redox, teor de polímeros orgânicos, tipo de solo em que são aplicados, microbiota do biofertilizante e do solo, clima e tempo, entre outros fatores (MÖLLER e MÜLLER, 2012).

No caso dos fertilizantes classificados como organominerais, esses são produzidos por uma mistura de um biofertilizante, por exemplo um composto, e enriquecido com a adição de fertilizantes inorgânicos, por exemplo, fosfato (P_2O_5), ureia (CH_4N_2O), calcário agrícola ($CaCO_3$, $MgCO_3$). Em geral, os fertilizantes organominerais são formulados buscando suprir carências químicas elementares presentes na matéria prima orgânica do biofertilizante. O uso de organominerais também favorece a utilização de um fertilizante que pode combinar a disponibilidade/liberação mais rápida de nutrientes (inorgânico), com uma mineralização mais lenta e gradual (orgânico). Os fertilizantes organominerais mantem ambas das principais características dos fertilizantes inorgânicos e orgânicos.

A escolha entre o tipo ou tipos de fertilizantes a serem utilizados nas pastagens (inorgânico, orgânico, organominerais), deve levar em consideração uma série de fatores como tipo de resíduo orgânico disponível na propriedade, espécie e alimentação do rebanho, tecnologias de processamento de dejetos orgânicos (composteira, esterqueira, biodigestor, lagoas aeróbias e anaeróbias), recursos humanos, maquinário, sistema de irrigação ou fertirrigação, tipo de solo, clima, espécie (s) forrageira, tipo de pastagens, sistema de produção (extensivo, semi-intensivo, intensivo, orgânico), nível de produtividade dos cultivares, legislação vigente para uso de fertilizantes, impactos socioambientais, custo-benefício, entre outros fatores.

Construção da fertilidade em pastagens: do estabelecimento às adubações de manutenção e cultivo

A adubação de pastagens e capineiras, pode ser dividida em fases distintas, sendo a primeira a adubação de fundação ou de estabelecimento, e a outra caracterizada pelas demais adubações de manutenção ou reposição. A adubação de fundação em geral está associada com todo processo de preparo do solo até o plantio e estabelecimento da pastagem. Em geral, a fertilidade do solo de uma pastagem durante o seu estabelecimento é construída por uma série de fatores prévios, que estão associados as características intrínsecas da área do cultivo incluindo: tipo de solo, topografia, vegetação e fauna nativa, histórico de utilização da área, vegetações ou culturas agrícolas anteriores, histórico e tipos fertilizações realizadas ao longo do tempo, disponibilidade hídrica, clima e tempo da região, entre outros fatores.

De posse dessas informações, a construção da fertilidade inicia-se com a escolha do tipo de preparo do solo: que pode ser sem preparo, parcial (em faixas ou setores), ou preparado de forma integral. Nas condições sem preparo, apenas ocorre o rebaixamento da vegetação indesejável por meio de pastejo pesado, fogo ou eliminação por herbicidas. No caso de uso de fogo, o produtor deve ter em mente que boa parte de matéria orgânica do solo será perdida, o que a curto, médio e longo prazo poderá afetar a capacidade produtiva do solo, visto que os teores de matéria orgânica no solo estão diretamente associados com a formação dos húmus que tem a capacidade de aumentar a retenção de cargas no solo, ou a capacidade de troca catiônica (CTC). O uso do fogo, por outro lado, pode ajudar a mineralizar uma elevada quantidade de minerais no solo como K, P, Ca, Mg, o que pode aparentemente parecer um benefício, no entanto, elementos químicos que possuem compostos volatilizáveis como o N (NH_3, N_2, N_2O) e S (H_2S) são perdidos para atmosfera pela combustão.

Quando preparado de forma integral, o solo de uma pastagem é submetido a aração e gradagem de toda área, que para além da eliminação de plantas invasoras ou indesejáveis, irá promover o revolvimento e descompactação do solo, que facilitará a melhor distribuição e adesão dos elementos químicos dos fertilizantes as partículas de argila e húmus do solo. Deve-se ressaltar que solos pouco estruturados podem ter impactos negativos do uso do arado ou grade, intensificando desestruturação. Em geral, o preparo do solo durante o estabelecimento de pastagens também está associado a incorporação de calcários para correção do pH quando necessário. A adição de fertilizantes pouco móveis no solo como o P, e incorporação da matéria orgânica também pode ser feita durante o preparo do solo. Essas ações são realizadas previamente ao plantio da cultura, sendo recomendado que o preparo do solo, em

especial a incorporação de calcário e matéria orgânica, ocorra de 60-90 dias antes do plantio da cultura forrageira, geralmente, são incorporados durante a primeira aração, ou entre as duas ou três gradagens realizadas neste período pré-plantio. Recomenda-se que o calcário seja aplicado de forma parcelada em 2 ou 3 aplicações, e leve em consideração o grau de incorporação ao solo, bem como seu poder relativo de neutralização total (PRNT). A incorporação e distribuição homogênea do calcário e da matéria orgânica nesta fase de preparo é fundamental para fertilidade do solo, a melhor distribuição desses componentes deve considerar o perfil do solo, bem como as camadas ou horizontes em que a maior parte do sistema radicular da cultura forrageira se desenvolverá.

Uma vez o solo condicionado, a fertilização de fundação geralmente leva em consideração uma diversidade de fatores, o manejador de pastagens deve ter em mente que todos os 17 elementos químicos essenciais as plantas são necessárias, e devem estar disponíveis no solo em concentrações diversas de acordo com as demandas da cultura forrageira em desenvolvimento. Durante a fase de germinação, nutrientes de baixa mobilidade no solo, como o P, devem ser incorporados mais superficialmente no solo, ou próximos a zona de desenvolvimento das radículas ou raízes primárias. A disponibilidade de P no solo tem papel fundamental na síntese de tecidos e órgãos (raízes, colmos e folhas), visto que este elemento compõe os ácidos nucléicos.

Toda adubação de fundação e manutenção deve levar em consideração a análise do solo, que pode ser realizada previamente antes do preparo do solo. Em geral, nas análises mais simplificadas do solo são obtidas informações sobre a textura, pH, concentrações de P disponível, concentração de cátions como (Na^{+}, Ca^{2+}, K^{+}, Mg^{2+}, Al^{3+}), CTC do solo, saturação por bases (V%), acidez potencial (H+Al), teor de MO de solo. Eventualmente numa análise mais completa os níveis de outros macros e microminerais como Zn, Fe, Mn, Cu, B e S podem ser disponibilizados. O N do solo, macro elemento de maior requerimento pelas culturas, geralmente não é disponibilizado nas análises de solo comerciais, devido a esse elemento ser bastante dinâmico e móvel no solo, sofrendo diversas transformações químicas e biológicas, o que influência de forma significativa em sua flutuação e nos seus estoques no solo. Geralmente o cálculo da adubação do N leva em consideração os requerimentos deste nutriente pela cultura forrageira. Durante a adubação de fundação, deve-se dar prioridade em aumentar a saturação por bases do solo, bem como fornecer e distribuir adequadamente todos os elementos necessários ao desenvolvimento da espécie forrageira.

Após o estabelecimento da cultura forrageira, as adubações regulares ou de manutenção visam de forma geral suprir os requerimentos nutricionais da cultura, manter os estoques de nutrientes, e a saturação por bases no solo, todas em níveis adequados ao desenvolvimento da cultura forrageira. Eventualmente, ao longo dos anos calagens periódicas serão necessárias, visto que ao longo do tempo há uma tendência de acidificação natural do solo, por fatores diversos como extração de bases pelas culturas, e devido a decomposição da matéria orgânica, ou por reações dissociativas dos fertilizantes inorgânicos e orgânicos aplicados (TANG *et al.*, 2013).

Os requerimentos em adubação de uma cultura forrageira podem ser calculados de acordo com a estimativa de remoção/extração de nutrientes pelo cultivo por área. Em geral, pastagens perenes são cultivadas e mantidas para remoção da parte aérea da planta por corte ou pastejo, sendo mantidas as raízes. A remoção periódica da parte área, implica na rebrota que novamente fará remoção/extração dos nutrientes do solo, para síntese e desenvolvimentos de novos tecidos, bem como para manutenção do metabolismo. Neste sentido, o cálculo simplificado da extração de nutrientes do solo pela cultura forrageira é consideravelmente simples, sendo levado em consideração a produção de forragem por ciclo ou total/anual, mais o teor do nutriente na biomassa de forragem colhida.

Como exemplo, podemos fazer o cálculo hipotético da quantidade de K extraído num cultivo de Capim-elefante [*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone] em sistema de capineira, com produtividade média por corte de 5.000 kg de matéria seca (MS)/ha, cortado a cada 60 dias, e totalizando 6 colheitas anuais ou 30.000 kg MS/ha/ano. Neste exemplo hipotético, uma análise bromatológica da forragem colhida apontou a concentração de K no Capim-elefante de 30 g/kg MS. Logo a exportação de K na biomassa do Capim-elefante por colheita seria de K = 30 g x 5000 = 150.000 g ou 150 kg. Neste sentido, em tese, a cada colheita de 5000 kg MS/ha do Capim-elefante, uma quantidade de 150 kg de K deveria ser reposta ao solo via adubação.

Deve-se levar em consideração que a remoção e extração de nutrientes pela cultura forrageira pode implicar saídas permanentes do elemento mineral do sistema solo-planta-animal. Um exemplo disso, são os campos de feno ou capineiras, onde a forragem produzida naquela área específica é consumida por animais em outro piquete, ou mesmo em outra propriedade. No caso de situações de pastejo, a remoção do nutriente pela planta e seu posterior consumo pelo animal implica em um retorno parcial via excreção de resíduos dos animais pastejadores. Outra forma de retorno de nutrientes ao solo é via serrapilheira, que pode ocorrer tanto em pastagens como em capineiras.

Cada elemento químico tem sua dinâmica no sistema solo-planta-animal bem como seu ciclo biogeoquímico. O manejador de pastagens ao avaliar a quantidade necessária do mineral a ser aplicada via adubação, deve levar em consideração outras perdas e adições que podem ocorrer. Entre os eventos que podem modificar os teores e a biodisponibilidade dos elementos minerais no solo para além da remoção pela cultura, ou adição via excreta e serrapilheira, podemos citar: lixiviação, escoamento, percolação, volatilização (N e S), imobilização, adsorção, dessorção, quelação, deposição atmosférica (N e S), mudanças de pH e CTC do solo, sinergismos e antagonismos entre nutrientes, mudanças na microbiota do solo, alterações na meso e macrofauna, fatores edafoclimáticos e eventos meteorológicos, entre outros. Cabe ao manejador de pastagens ao calcular a quantidade de fertilizantes a serem utilizados, considerar e ponderar as possíveis perdas e/ou adições que possam vir a ocorrer.

De forma geral, avaliar cada elemento e sua dinâmica no sistema solo-planta-animal é bastante complexo, neste sentido, em termos práticos o manejador de pastagens deve fazer a reposição dos nutrientes extraídos pela cultura forrageira a cada ciclo produtivo com base nas estimativas de extração, e regularmente realizar análises do solo (pH, Na^{+}, Ca^{2+}, K^{+}, Mg^{2+}, Al^{3+}, saturação por bases, CTC do solo, matéria orgânica, P-disponível, microelementos) para verificar os parâmetros de fertilidade. A avaliação dos índices de produtividade forrageira também pode ser usada como indicativo do status nutricional do solo.

Aplicação de fertilizantes: estequiometria, período e formas de aplicação

Estequiometria dos fertilizantes

Após precisar a quantidade exata dos elementos minerais a serem repostos via adubação, o manejador de pastagens deverá escolher o tipo de fertilizante a ser utilizado, a melhor época e momento certo para fertilização, bem como a forma que este fertilizante poderá ser aplicado. Ao escolher o tipo ou tipos de fertilizante (inorgânico, orgânico e/ou organomineral), dever-se inicialmente verificar a quantidade ou os teores de cada mineral presente no fertilizante utilizado. Por exemplo, caso o manejador de pastagens opte por utilizar ureia (CH_4N_2O) e fosfato monopotássico (KH_2PO_4) para fornecer os requerimentos de N, P, K, este deve

verificar a quantidade ou percentual de cada elemento que será fornecido por cada fertilizante. Para verificar esses valores, basta calcular o peso molecular total da formula, que é baseado na soma das massas atômicas de cada elemento descritos na tabela periódica, multiplicado pelo número de vezes que cada átomo aparece na formula estável do composto. Vejamos os exemplos na Tabela 4.

Ressalta-se ainda que se deve levar em consideração o peso seco do fertilizante, e considerar que eles estão livres de impurezas diversas. Ao adquirir fertilizantes inorgânicos comerciais, esses podem vir com diversas formulações e concentrações dos elementos essenciais. No entanto, cabe ao manejador de pastagem observar o rótulo das formulações, e verificar a quantidade elementar de cada nutriente. É comum formulações comerciais informarem as quantidades de N-P-K por exemplo, contidas nas formulações. No entanto, deve-se verificar se os valores correspondem as percentagens do elemento químico, ou de algum composto do qual fazem parte. Por exemplo, um rótulo de fertilizante que informa que é 20-10-20 (NPK), supõem-se e espera-se que possua uma quantidade de 20% da massa composta pelo elemento N, 10% por P e 20% por K, no entanto, pode ocorrer de ser, por exemplo, 20% N + 10% P_2O_5 + 20% K_2O. Observe no exemplo que P e K não estão sendo referenciados em suas percentagens elementais, mas sim a percentagem do composto que fazem parte. Logo ao aplicar 1 kg deste fertilizante, não se estará aplicando 100 g P e 200 g de K, mas sim uma quantidade bem menor. Ver exemplo do cálculo na Tabela 4.

No caso dos biofertilizantes, o manejador deve levar em consideração uma diversidade de fatores, que podem influenciar na composição química do mesmo. No geral, os biofertilizantes possuem a maior parte dos macros e microminerais, sendo assim, não podemos defini-los com uma fórmula específica como fazemos para as formulações de fertilizantes inorgânicos simples. De forma geral é aconselhável quando possível, coletar amostras do biofertilizante e enviá-lo para análise de nutrientes totais. Onde uma estimativa percentual ou concentração média de cada nutriente pode ser acessada.

Tabela 4. Cálculo da percentagem e g/kg de cada elemento mineral contido nas fórmulas dos fertilizantes ureia (CH_4N_2O) e fosfato monopotássico (KH_2PO_4)

Elemento	Massa atômica*	Quantidade de átomos∞	Massa molecular total	Percentual no fertilizante (%)	g /kg do fertilizante
Ureia (CH_4N_2O)					
C	12	1	12	20,0	200 g
H	1	4	4	6,6	66,6 g
N	14	2	28	46,6	466 g
O	16	1	16	26,6	266 g
CH_4N_2O	-	-	60	100	1 kg
Fosfato monopotássico (KH_2PO_4)					
K	39	1	39	28,7	287 g
H	1	2	2	1,5	1,5 g
P	31	1	31	22,8	228 g
O	16	4	64	47,0	470 g
KH_2PO_4	-	-	136	100%	1 kg

* Massa atômica arredondada com base na tabela periódica. ∞ Quantidade de átomos na formula estável de cada fertilizante. Observação: para fins didáticos os valores de massa atômica, percentagem e de g/kg foram arredondados

No caso dos biofertilizantes, o tipo de matéria orgânica do substrato (por exemplo, esterco animal, resíduos agroindustriais, serrapilheira, palha) influencia diretamente na composição química, bem como na disponibilidade dos nutrientes. Os biofertilizantes são bastante diversos, mesmo para uma categoria similar (por exemplo, o esterco bovino), podem ser encontradas composições bastante diversas em termos de elementos químicos presentes e suas concentrações. Basta fazer um comparativo do esterco bovino de animais alimentados exclusivamente a pasto, com de bovinos em condições de confinamento.

Outro fator relevante que deve ser considerado durante a aplicação biofertilizantes é a presença diversa de microrganismos (bactérias, fungos e arqueais), bem como seus teores de matéria orgânica, que tem a capacidade de alterar ou influenciar na microbiota nativa do solo. No solo os microrganismos podem desempenhar e participar de diversos processos que influenciam diretamente no ciclo dos elementos químicos, em especial sua mineralização/imobilização. Entre os

processos que são influenciados pelos microrganismos do solo incluem: decomposição da matéria orgânica, produção de húmus, formação de agregados, intemperismo do solo (decomposição da rocha e minerais), fixação biológica do nitrogênio (N_2), produção de hormônios, circulação de nutrientes no solo, solubilização de fosfatos, extensão do sistema radicular (micorrizas), alterações nos ciclo biogeoquímicos, fitopatologias (causas e prevenções), biodegradação de compostos tóxicos às plantas, produção de enzimas catalizadoras, entre outros (AISLABIE e DESLIPPE, 2013). A população microbiana do solo pode apresentar quantidades significativas por cada grama (g^{-1}) de solo, indo de milhares a bilhões de indivíduos, por exemplo: bactérias (10^8 a 10^9 g^{-1}) com 600-750 gêneros; fungos (10^8 a 10^9 g^{-1}) com 450 -600 gêneros, arqueias (10^5 g^{-1}) com 10-15 gêneros (COELHO *et al.*, 2020). A fertilidade do solo está diretamente associada com a microbiota.

Época e tempo de aplicação do fertilizante

Em pastagens já implantadas, onde presumidamente já foram realizadas a adubação de estabelecimento ou fundação, a extração e exportação de nutrientes do solo tem uma relação direta com o nível de produtividade da cultura, com a exportação pelos animais e por seus produtos. É de conhecimento que cada colheita ou estação de pastejo tem a capacidade de remover do sistema solo-planta variadas quantidades de nutrientes, que deverão ser repostos via fertilização. Um indicativo de fertilidade que pode ser usada para diagnosticar a gradual diminuição ou o exaurimento de nutrientes do solo é a saturação por bases, que demonstra a quantidade de cátions (nutrientes) retidos no solo e dissolvidos em solução. Uma análise de solo após uma estação de pastejo ou após colheitas sucessivas, pode apontar essa diminuição gradual da fertilidade do solo. Normalmente, pastagens ou capineiras de clima tropical são caracterizadas por sua perenidade, sendo utilizadas através de sucessivos cortes, pastoreios contínuos ou intermitentes.

Uma estratégia de adubação pode ser o uso parcelado dos fertilizantes ao longo dos ciclos de pastejo ou de colheita. O parcelamento da aplicação dos fertilizantes evita que ocorram excessos de fornecimento de nutrientes num determinado momento e área. Quando ocorre excesso de fertilizantes numa determinada área perdas por fatores como lixiviação, volatilização, escoamento, erosão entre outros. Para elementos com alta volatilidade e mobilidade, como N, são recomendadas aplicações parceladas. Em geral, o melhor período para aplicar fertilizantes de alta disponibilidade numa cultura já estabelecida seria nos períodos de rebrota, idealmente próximo ao início da fase mais exponencial da curva de

crescimento sigmoide da planta forrageira ou de desenvolvimento do pasto (Figura 3). Nesta fase exponencial, a planta terá maiores requerimentos nutricionais, e como encontra-se reestabelecendo seus órgãos aéreos (caule, folha) pós-colheita, o aporte de nutrientes é de fundamental importância para síntese de novos tecidos.

Uma estratégia interessante para o manejo de pastagens é combinar o aporte de nutrientes utilizando biofertilizantes de lenta disponibilização, com fertilizantes inorgânicos ou mesmo orgânicos de alta disponibilidade. Fertilizantes orgânicos, em especial os pouco decompostos (ex. fibrosos), apresentam uma disponibilização mais lenta e gradual dos elementos químicos, o que de certa forma mantem um estoque de nutrientes no solo a médio e longo prazo. Vale ressaltar que alguns fertilizantes orgânicos podem apresentar uma rápida disponibilização de nutrientes como é o caso dos biofertilizantes anaeróbicos digeridos (por exemplo, resíduos de biodigestor). Outro fator importante ao se utilizar biofertilizantes, é que esses apresentam uma diversidade de nutrientes essenciais, muitos deles requeridos em poucas quantidades como os microelementos.

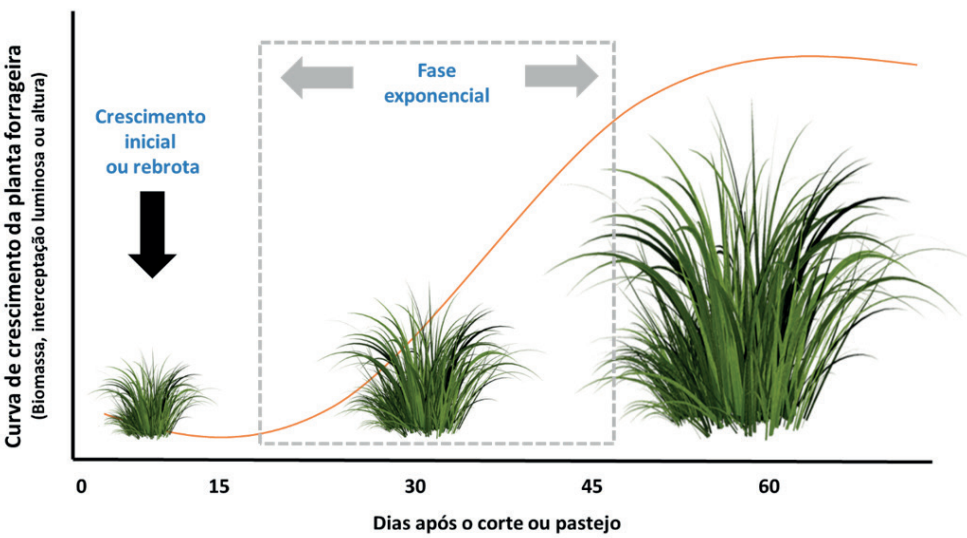

Figura 3. Crescimento sigmoide da planta forrageira após o corte ou pastejo (rebrota). Observação: a curva apresenta tempos de crescimento diferentes em função do metabolismo fotossintético, espécie forrageira, manejo de corte e fatores ambientais (exemplo: radiação solar, disponibilidade de água e nutrientes).

Aplicação dos fertilizantes

A aplicação dos fertilizantes, tanto inorgânicos como biofertilizantes pode ser feita de diversas formas. Porém, fatores ligados ao aspecto físico-químico do fertilizante influenciam diretamente na sua forma de aplicação. Por exemplo, fertilizantes inorgânicos podem ser encontrados em forma de grânulos, pó, rochas moídas, ou diluídos, e isso influencia na forma que serão aplicados no solo. O mesmo servindo para os biofertilizantes que podem ser sólidos, semissólidos ou pastosos e líquidos. Os fertilizantes podem ser aplicados ao solo de forma superficial ou incorporados. A incorporação, no entanto, é facilitada em situações de preparo integral do solo, ou em situações específicas onde são utilizados injetores acoplados em maquinário agrícola. A aplicação superficial do fertilizante no solo implica sua exposição inicial aos fatores atmosféricos e presentes na superfície do solo, e sua incorporação poderá ser gradual, geralmente dependente do teor de umidade do solo.

No que concerne ao período de fertilização, deve-se evitar aplicar fertilizantes próximos a períodos de enxurradas, onde podem ocorrer demasiadas perdas por lixiviação e escoamento de nutrientes. Deve-se observar a topografia do solo e a direção do fluxo das águas para evitar escoamento de nutrientes e sua deposição excessiva em determinadas áreas da pastagem ou mesmo em cursos de água. As formas mais comuns de aplicar os fertilizantes podem ser a lanço, aplicação em linhas com maquinário, pulverização, fertirrigação ou pulverização foliar, sendo a última bem menos comum em pastagens e capineiras. Em termos de pastagens, é comum a dificuldade de mecanização da fertilização em algumas áreas com declives ou muito extensas. No geral, a aplicação do fertilizante deve facilitar a concentração dos nutrientes na região próxima a rizosfera das plantas. Por exemplo, numa capineira de capim-elefante onde cada touceira é bem visível e distinta da outra, fica mais fácil direcionar a aplicação dos fertilizantes a região mais próxima da base da planta alvo. Em pastagens mais densas e herbáceas, recomenda-se a distribuição homogênea.

Manejo do pastejo e sua relação com a fertilização

O manejo do pastejo refere-se às estratégias utilizadas na condução dos animais em ambiente pastoril, visando uma colheita eficiente da forragem produzida, de forma a otimizar a produção animal e garantir a sustentabilidade dos sistemas de produção. Em condições de campo, esse processo é feito por meio do método de pastejo e ajuste na taxa de lotação, as quais representam as estratégias passíveis de manipulação (Da Silva e Nascimento Júnior, 2007).

No Brasil, o método mais comumente utilizado é o de lotação contínua, onde os animais têm acesso ininterrupto à área durante toda a estação de pastejo. Por outro lado, a lotação rotativa é um termo genérico para os métodos de pastejo que alternam períodos de ocupação e descanso. Embora haja comparações sobre qual método de pastejo é melhor, é importante reconhecer as vantagens e limitações de cada um dos métodos e compreender como essa comparação deve ser abordada. Conforme indicado por Parsons *et al.* (1988), a abordagem mais eficaz consiste em traçar as taxas médias de crescimento em relação a um critério padrão, enquanto se mantém valores constantes para a frequência e intensidade de desfolha. Utilizando modelos mecanísticos, esses pesquisadores estabeleceram uma relação entre a taxa média de crescimento e o índice de área foliar (IAF) médio. Sob esta ótica, quando os métodos de pastejo são confrontados dentro de um mesmo critério, as produções resultantes de ambos os métodos demonstram similaridade. Assim, o método de pastejo não influencia nos níveis de fertilização; em vez disso, essa variável é determinada pela cultivar empregada. Vale ressaltar que o método de pastejo pode de forma direta ou indiretamente influenciar na distribuição das excretas animal no pasto, o que pode eventualmente alterar a fertilidade do solo. Por exemplo, a deposição de excretas próximo as áreas com sombras ou de bebedouros/comedouros.

A interação manejo do pastejo × fertilização pode ser melhor elucidada por meio da morfogênese da planta forrageira, pois é o ponto de convergência da interface planta-animal (Da Silva e Nascimento Júnior, 2007). Conforme destacado por Gastal e Lemaire (2015), para um pasto em estágio vegetativo, a morfogênese é delineada por três indicadores principais: a taxa de aparecimento de folhas (TApF), a taxa de alongamento de folhas (TAlF) e a duração de vida das folhas (DVF). Em certas espécies de gramíneas de clima tropical, especialmente aquelas de crescimento cespitoso, um outro componente morfológico de relevância emerge, tendo um impacto substancial na estrutura do pasto, nos processos de competição por luz e na ingestão de forragem pelo herbívoro — trata-se da taxa de alongamento de colmos (DIFANTE *et al.*, 2011).

A TApF, TAlF e a DVF, através da influência dos fatores ambientais (*e.g.,* nutrientes), determinam características estruturais como o número de folhas vivas por perfilho (NFV), o comprimento final da folha (CFF), a densidade populacional de perfilhos (DPP) e a relação folha:colmo. Esses elementos, por sua vez, são responsáveis pelo IAF do pasto (Figura 4). Contudo, o IAF sofre mudanças significativas devido à desfolha realizada pelos herbívoros, o que resulta em alterações na quantidade e qualidade de luz que atinge a base das plantas, consequentemente promovendo modificações na DPP e nas variáveis morfogênicas.

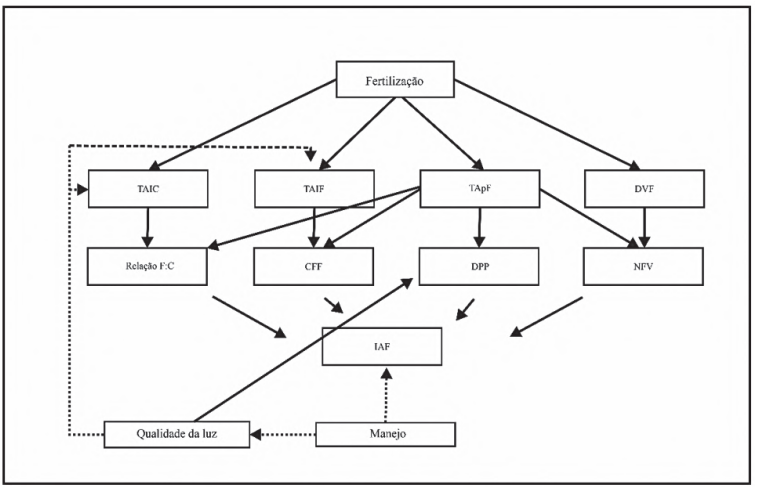

Figura 4. Representação esquemática das relações entre a fertilização e as características morfogênicas e estruturais em gramíneas C_4.

Fonte: adaptado de GASTAL e LEMAIRE (2015).

Ressalta-se que, uma vez que as necessidades nutricionais fundamentais da planta estejam atendidas, é o nitrogênio (N) que passa a determinar a taxa de crescimento da mesma. A fertilização com N desencadeia um acelerado fluxo de tecidos (Figura 4) e um aumento na taxa de crescimento das plantas forrageiras (SOUSA *et al.*, 2021; EUCLIDES *et al.*, 2022), resultando em um maior alongamento do colmo e na senescência foliar (SOUSA *et al.*, 2021). O N, apesar de exercer pouca influência na TApF, afeta o perfilhamento do pasto, provavelmente por um efeito na brotação das gemas axilares (GASTAL e LEMAIRE, 2015). Nesse contexto, destaca-se a importância crucial do controle do pastejo em pastagens com níveis mais elevados de fertilização. Se não for efetivamente ajustada a taxa de lotação, a colheita da forragem gerada poderá sofrer penalizações substanciais, levando a perdas de forragem produzida e um declínio no desempenho dos animais, o que terá um impacto direto na rentabilidade global da atividade.

De acordo com as conclusões de EUCLIDES *et al.* (2022), quando os pastos de capim-Mombaça são manejados pelo método de lotação rotativa e são pastejados por bovinos de corte, a resposta à adubação com nitrogênio é linear até a dose de 300 kg ha^{-1} de N. Além disso, os pesquisadores elevaram a taxa de lotação de 3,0 UA/ha na dose de 100 kg ha^{-1} de N para 4,4 UA/ha na dose de 300 kg ha^{-1} de N, com o objetivo de maximizar a colheita da forragem produzida. Em um estudo similar com capim-mombaça, conduzido por GURGEL *et al.* (2021), sob lotação rotativa por

bovinos de corte, avaliou-se o efeito residual da adubação nitrogenada. Durante três anos consecutivos, os pastos foram fertilizados com três doses anuais de N na forma de ureia (100, 200 e 300 kg ha^{-1} de N). No ano subsequente, não houve aplicação de adubação nitrogenada, caracterizando o efeito residual do N. Os resultados apontaram que a interrupção da adubação nitrogenada em pastos de capim-mombaça por um ano após três anos de aplicações sequenciais das mesmas doses resulta em um efeito residual na estrutura do pasto e na taxa de lotação. No entanto, essa prática não se mostra vantajosa, uma vez que ela reduz, em média, 35,7% da taxa de acúmulo de forragem (Figura 5 A), provocando uma queda de 50,1% na produtividade animal (kg ha^{-1} de peso vivo (Figura 5 B), devido à redução na taxa de lotação.

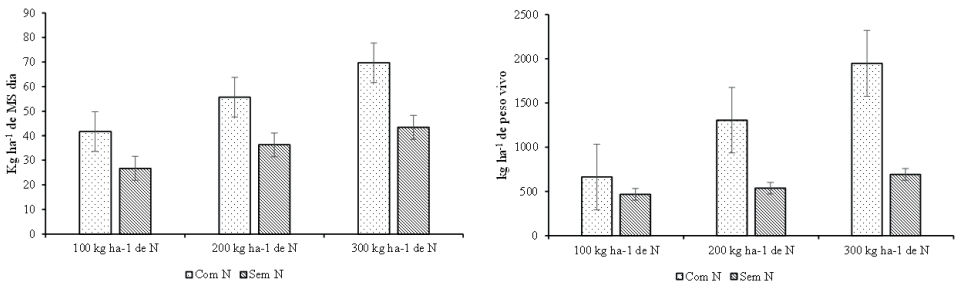

Figura 5. Produção primária (A) e secundária (B) em pastos de capim-mombaça recebendo ou não adubação nitrogenada.

Fonte: adaptado de GURGEL *et al.* (2021) e EUCLIDES *et al.* (2022).

Dessa forma, uma estratégia de fertilização do pasto deve ser acompanhada de um adequado controle da intensidade e frequência de desfolha, independentemente do método de pastejo empregado. Pois, a variação nas taxas de crescimento do pasto em resposta à adubação implica, obrigatoriamente, em ajuste de taxa de lotação para maximizar a colheita da forragem produzida. Portanto, a abordagem integrada da fertilização com o manejo do pastejo é vital para assegurar a produtividade e a sustentabilidade de todo o sistema produtivo.

Consórcio e sistemas integrados na fertilização de pastagens

No manejo de fertilização da pastagem deve-se considerar que outros fatores podem influenciar na distribuição e ciclagem de nutrientes solo, incluindo a adoção de sistemas de consócio gramínea-leguminosa, uso de múltiplas espécies, adoção

de sistemas integrados de produção (agrossilvipastoris, silvipastoril), rotação de culturas, entre outros. A presença de espécies fixadoras de nitrogênio na pastagem como as leguminosas, podem contribuir de forma substancial com a quantidade de nitrogênio adicionado ao sistema, reduzindo a demanda pela aplicação de fertilizantes inorgânicos. As leguminosas forrageiras por meio de associação simbiótica com bactérias diazotróficas, em especial as do tipo rizóbio, realizam a fixação biológica do N_2. Outro fator que deve ser considerado ao manejar pastagens com mais de uma espécie, são os requerimentos nutricionais de cada espécie, que em geral são diferentes, em especial se levarmos em consideração consórcios entre gramíneas e leguminosas. Deve-se avaliar a espécie predominante no pasto, bem como a distribuição da composição botânica. Em áreas de sistema silvipastoril, por exemplo, utilizando pastagens de gramíneas combinadas com leguminosas arbóreas, torna-se muito mais fácil realizar a adubação específica para cada espécie (Figura 6). No caso de pastagens com dosséis herbáceos onde se entremeiam espécies de mesmo porte, a adubação específica para cada espécie se torna desafiadora ou impraticável.

Figura 6. Silvipastoril, Itambé, 2016.
Autora: Galindo, A.

Referências

Aislabie, J., Deslippe, J. R., & Dymond, J. (2013). Soil microbes and their contribution to soil services. Ecosystem services in New Zealand–conditions and trends. Manaaki Whenua Press, Lincoln, New Zealand, 1(12), 143-161.

Cardoso, E. J. B. N., & Andreote, F. D. (2016). Microbiologia do solo. 2ª Edição. Piracicaba/SP: ESALQ.

Cardoso, E. L.; Fernandes, A. H. B. M.; Fernandes, F. A. (2009). Análise de solos: finalidade e procedimentos de amostragem. Corumbá: Embrapa Pantanal. 5p.

Coelho, J. J., Hennessy, A., Casey, I., Bragança, C. R. S., Woodcock, T., & Kennedy, N. (2020). Biofertilisation with anaerobic digestates: A field study of effects on soil microbial abundance and diversity. Applied Soil Ecology, 147, 103403.

Coelho, J. J., Prieto, M. L., Dowling, S., Hennessy, A., Casey, I., Woodcock, T., & Kennedy, N. (2018). Physical-chemical traits, phytotoxicity and pathogen detection in liquid anaerobic digestates. Waste management, 78, 8-15.

Da Silva, S. C., & Nascimento Júnior, D. (2007). Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. Revista Brasileira de Zootecnia, 36, 121-138.

Difante, G. S., Nascimento Junior, D., Da Silva, S. C.; Euclides, V. P. B., Montagner, D. B., Silveira, M. C. T.; Pena, K.S. (2021). Características morfogênicas e estruturais do capim-marandu submetido a combinações de alturas e intervalos de corte. Revista Brasileira de Zootecnia, 40, 955-963.

Euclides, V. P. B., Montagner, D. B., Araújo, A. R., Pereira, M. A., Difante, G. S., Araújo, I. M. M., Barbosa, L. F., Barbosa, R. A., & Gurgel, A. L. C. (2022). Biological and economic responses to increasing nitrogen rates in Mombaça guinea grass pastures. Scientific Reports, 12, 1937.

Epstein E., Bloom A. J. (2005) Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives, 2nd edn. Sunderland, MA: Sinauer.

Gastal, F., & Lemaire, G. (2015). Defoliation, Shoot Plasticity, Sward Structure and Herbage Utilization in Pasture: Review of the Underlying Ecophysiological Processes. Agriculture, 5, 1146-1171.

Gurgel, A. L. C., Difante, G. S., Montagner, D. B., Araujo, A. R., & Euclides, V. P. B. (2021). The effect of residual nitrogen fertilization on the yield components, forage quality, and

performance of beef cattle fed on Mombaça grass. Revista de La Facultad De Ciencias Agrarias, 53, 296-308.

Malavolta, E. (1980). Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Ceres. 251p.

Melesse, A., Steingass, H., Schollenberger, M., & Rodehutscord, M. (2017). Screening of common tropical grass and legume forages in Ethiopia for their nutrient composition and methane production profile in vitro. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales, 5(3), 163-175.

Möller, K., & Müller, T. (2012). Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. Engineering in Life Sciences, 12(3), 242-257.

Miller, A.J. (2014). Plant mineral nutrition. eLS,

Nagajyoti, P. C., Lee, K. D., & Sreekanth, T. V. M. (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. Environmental Chemistry Letters, 8, 199-216.

Parsons, A. J, Johnson, I. R, Harvey, A. (1988). Use of a model to optimize the interaction between frequency and severity of intermittent defoliation and to provide a fundamental comparison of the continuous and intermittent defoliation of grass. Grass and Forage Science, 43, 49-59.

Santos, H. G. D., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Lumbreras, J. F., Coelho, M. R., & Cunha, T. J. F. (2018). Sistema brasileiro de classificação de solos, Embrapa Solos. Disponível em: https://www.embrapa.br/solos/sibcs. Acesso em: 9 de abril de 2018.

Sousa, C. C. C., Montagner, D. B., Araujo, A. R., Euclides, V. P. B., Difante, G. S., Gurgel, A. L. C., & Souza, D. L. (2021). The soil-plant interface in Mombasa guineagrass pastures subjected to different nitrogen doses in rotational stocking. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 12, 1098-1116.

Suryawanshi, M. D. (2020). Plant Nutrients TYBSC.

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2017). Fisiologia e desenvolvimento vegetal. Artmed Editora

Tang, C., Weligama, C., & Sale, P. (2013). Subsurface soil acidification in farming systems: its possible causes and management options. Molecular Environmental Soil Science, 389-412.

Wong, W. S., Tan, S. N., Ge, L., Chen, X., & Yong, J. W. H. (2015). The importance of phytohormones and microbes in biofertilizers. Bacterial Metabolites in Sustainable Agroecosystem, 105-158.

08

Manejo de pastagens consorciadas

Pedro Henrique Ferreira da Silva[1]
Mércia Virginia Ferreira dos Santos[2]
Márcio Vieira da Cunha[3]
Romildo da Silva Neves[1]
Geovergue Rodrigues de Medeiros[1]

Introdução

O rebanho brasileiro de ruminantes (bovinos, ovinos, caprinos e búfalos) foi estimado em aproximadamente 190 milhões de animais, de acordo com o último Censo Agropecuário (IBGE, 2019). O tamanho deste rebanho provavelmente aumentará, pois avalia-se uma necessidade de incremento da produção agrícola em torno de 60% até 2050 (ABIEC, 2022). Neste cenário, a sociedade civil tem exigido maior comprometimento dos profissionais da agropecuária para uma produção mais sustentável, que vise conservação dos recursos naturais, reduza impacto ambiental e diminua a emissão de gases do efeito estufa (GEE), em especial óxido nitroso (N_2O), gás carbônico (CO_2) e metano (CH_4) (Schultze-Kraft et al., 2018).

[1] Núcleo de Produção Animal, Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, Paraíba.
[2] Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, Pernambuco; Bolsista do CNPq.
[3] Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, Pernambuco.

A pecuária brasileira é conduzida quase que completamente por sistemas de produção a pasto, com utilização de 90 milhões de hectares de pastagens formadas por *Urochloa decumbens* Stapf. (Syn. *Brachiaria decumbens* Stapf.) ou *Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*) (Boddey et al., 2020). O monocultivo de gramíneas tropicais, principalmente sob manejo inadequado, pode causar degradação de pastagens, reduzir o valor nutritivo da forragem, a ciclagem de nutrientes e ainda aumentar a emissão de GEE (Silva et al., 2023).

Incluir leguminosas e outras espécies forrageiras em pastagens de gramíneas tem sido alvo de pesquisa e incentivo nos últimos 70 anos. Consórcios gramínea-leguminosa em pastagens apresentam diversos benefícios ao ecossistema formado, contribuindo para reduzir problemas comumente observados em pastos exclusivos de gramíneas (Dubeux Jr. e Sollenberger, 2020). Os consórcios podem melhorar aspectos relacionados ao desempenho animal e econômico, pelo aumento do valor nutritivo da dieta, bem-estar animal e redução de insumos como fertilizantes nitrogenados. Todas essas vantagens são melhorias nos serviços ecossistêmicos prestados pelas pastagens (Dubeux Jr. et al., 2017). Apesar do elevado potencial, há uma percepção de que consórcios entre gramíneas e leguminosas não funcionam em regiões tropicais como o Brasil, principalmente porque gramíneas tendem a provocar o desaparecimento de leguminosas herbáceas, devido à competição interespecífica por recursos (Boddey et al., 2020).

Além disso, muitos agricultores consideram o manejo de pastagens exclusivas mais simplificado e que respostas produtivas são mais evidentes quando se utiliza adubação nitrogenada, em comparação à instalação de um consórcio (Khatiwada, et al., 2020). Entretanto, muitos estudos conduzidos recentemente têm demonstrado a viabilidade de diferentes tipos de consórcio mediante manejo adequado (Formiga et al., 2012; Pereira et al., 2017; Depablos et al., 2021; Silva et al., 2023).

Neste capítulo, serão abordados os principais serviços ecossistêmicos de pastagens consorciadas, além de aspectos relacionados ao manejo, bem como as perspectivas sobre diferentes tipos de consórcios em sistemas de produção de forragem em condições tropicais.

Serviços ecossistêmicos em pastagens consorciadas

Em regiões tropicais, como no caso do Brasil, a formação e o manejo de pastagens consociadas entre gramíneas e leguminosas surge como alternativa viável para manter ou mesmo melhorar desempenho produtivo e econômico em sistemas

de produção de leite e de carne (Casagrande et al., 2022). Tal perspectiva se deve principalmente pela melhoria nos serviços ecossistêmicos "prestados" quando se inclui leguminosas em pastos exclusivos de gramíneas.

A inclusão de leguminosas em pastagens de gramíneas melhora diversos desses serviços ecossistêmicos a curto, médio e longo prazo. Diversos pesquisadores relataram avanços desde incrementos no valor nutritivo da forragem até melhorias na ciclagem de nutrientes ao consorciar leguminosas com gramíneas (Khatiwada et al., 2020; Gomes et al., 2020; Depablos et al., 2021; Cooledge et al., 2022).

O aumento da massa e/ou oferta de forragem é frequentemente verificado em consórcios, especialmente a médio e longo prazo. Vieira et al. (2019) observaram aumento de 1,8 para 2,4 t ha^{-1} MS na massa de forragem, ao misturar Amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* Krap. & Greg.) em pastos de Capim-elefante cv. 'Merkeron Pinda' (*Cenchrus purpureus* Schum. Syn. *Pennisetum purpureum* Schum.). Foi observado que a inclusão da leguminosa proporcionou aporte de N que contribuiu positivamente com diversas respostas produtivas, após apenas 3 ciclos de pastejo. Vale enfatizar a redução no uso de fertilizantes nitrogenados em sistemas de cultivo consorciado, pois algumas leguminosas forrageiras como a Cunhã (*Clitoria ternatea* L.) e próprio Amendoim forrageiro são capazes de incorporar até 100 kg ha^{-1} ano^{-1} de N no sistema (Silva et al., 2023), e outras são capazes de ainda mais.

Outro serviço ecossistêmico dos consórcios é o aumento do valor nutritivo da dieta dos animais. Leguminosas forrageiras e outras espécies de metabolismo fotossintético C_3 caracterizam-se por apresentarem elevados teores de proteína bruta (PB), carboidratos não-fibrosos, além de reduzidos teores de fibra, e por vezes, maior digestibilidade da matéria seca (Lee, 2018; Medeiros et al., 2022). Tontini et al. (2021) compararam a composição químico-bromatológica da forragem colhida em pastos exclusivos de Capim-aruana (*Megathyrsus maximus* Jacq. Syn. *Panicum maximum* Jacq.) com aquela de pastos desse capim consorciado ao Feijão-guandu cv. Anão (*Cajanus cajan* (L.) Millsp). Os autores encontraram teores de PB de 144 g kg^{-1} no monocultivo da gramínea e 167 g kg^{-1} no consórcio, e atribuíram o incremento à inclusão do Feijão-guandu no sistema. No entanto, nem sempre a composição químico-bromatológica das leguminosas refletirá em maior consumo por parte dos animais, já que algumas apresentam possíveis fatores antinutricionais como taninos condensados, cumarina ou glicosídeos cianogênicos (Medeiros et al., 2022). Miranda et al. (2021) observaram que novilhos mestiços Zebu-Holandês preferiram consumir Capim-braquiária (*Urochloa decumbens* Stapf.) do que leguminosas arbóreas como a Gliricídia [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp] e a Sabiá (*Mimosa caesalpiniifolia* Benth), em sistemas silvipastoris formados. Porém, vale lembrar que neste cenário,

as leguminosas arbóreas fornecem outros serviços ecossistêmicos como conforto térmico aos animais (sombreamento) e diversificação de recursos pela venda de madeira (Dubeux Jr. et al., 2017).

Vale enfatizar também, que essas espécies não-gramíneas ricas em proteína, sejam herbáceas ou arbóreas, constituem a base da alimentação de bovinos, ovinos e caprinos criados em sistemas extensivos na vegetação nativa da Caatinga, por exemplo. Isto reforça a contribuição de plantas forrageiras deste tipo na alimentação animal (Araújo Filho, 2013; Conrado et al., 2020).

A inclusão de leguminosas em pastos exclusivos de gramíneas acelera a ciclagem de nutrientes. A inclusão de leguminosas proporciona elevado aporte de N pela fixação de N_2, feita principalmente por bactérias do gênero *Rhizobium* em simbiose com leguminosas. Por outro lado, a alta qualidade da serapilheira de leguminosas aumenta a ciclagem do N no sistema (Lemaire et al., 2011), através de aumentos nas taxas de deposição e decomposição. Isto é importante do ponto de vista ambiental também, pois o uso excessivo de N inorgânico na fertilização dos solos (uso da ureia, por exemplo) pode gerar produtos como óxido nitroso (N_2O), que é um importante GEE, além da lixiviação do nitrato (NO_3) que pode contaminar lençóis freáticos (Longhini et al., 2021).

Outro serviço ecossistêmico de fundamental importância é a manutenção da biodiversidade. A inclusão de leguminosas no sistema pode aumentar a diversidade via aumento de polinização por insetos na área, já que a polinização em gramíneas é essencialmente dependente do vento. A diversidade pode ser ainda maior em pastagens formadas por múltiplas espécies (Sollenberger e Dubeux Jr., 2022). O aumento da biodiversidade de insetos é fundamental para os ecossistemas e para agropecuária mundial, pois 75% das culturas agrícolas são polinizadas por insetos, inclusive espécies muito utilizadas na alimentação animal como a soja (*Glycine max* L.) (Marzinzig et al., 2018).

O sequestro de carbono (C) é um benefício vital das pastagens, especialmente no contexto das mudanças climáticas. A serapilheira de leguminosas, que são rapidamente degradadas, na verdade contribuem bastante para o acúmulo de C no solo (Sollenberger e Dubeux Jr., 2022).

Adicionalmente à melhoria no valor nutritivo da dieta dos ruminantes, a inclusão de leguminosas reduz a emissão de metano entérico através de aumentos no consumo de matéria seca e fermentação da matéria orgânica. O aumento na digestibilidade da forragem reduz o tempo de retenção da digesta e a produção de íons H_2, e com isso, menos metano é produzido e liberado na atmosfera (Ku-Vera et al., 2020). Além disso, leguminosas de clima temperado ou tropicais podem apresentar

baixos teores de taninos condensados (abaixo de 40 mg g^{-1}), e com isso, modularem positivamente a fermentação ruminal (Boddey et al., 2020). Carmona-Flores et al. (2020) avaliaram a emissão de CH_4 em vacas leiteiras da raça Jersey, recriadas em pastos de múltiplas espécies ou pastos separados formados pelas mesmas espécies. Os autores observaram menor emissão de metano entérico nos pastos de múltiplas espécies (19 g kg^{-1} MS), comparativamente aos pastos exclusivos (22 g kg^{-1} MS), e justificaram o resultado pelo efeito benéfico de espécies que continham taninos condensados em suas composições. Além disso, observaram também menor teor de ureia na urina das vacas criadas em pastos consorciados (104 mmol L^{-1}), comparativamente àquelas criadas em pastos exclusivos (175 mmol L^{-1}), o que aumenta a concentração de N no leite e ajuda a reduzir possíveis contaminações de lençóis freáticos por corpos d'água com N (Totty et al., 2013; Dubeux Jr. e Sollenberger, 2020). Consórcios gramínea-leguminosa têm se mostrado substancialmente úteis na melhoria do uso e ciclagem de N no sistema, assim como no aumento da produção e qualidade do leite (McCarthy et al., 2020).

Os serviços ecossistêmicos produzidos em pastagens consorciadas refletem incrementos em desempenho produtivo e econômico, além da contribuição com a sustentabilidade dos sistemas de produção. Diversos pesquisadores já relataram ganhos para os sistemas de produção de forragem ao incluir leguminosas em pastagens (Quadro 1). Além disso, tanto o estabelecimento quanto o manejo de pastos consorciados têm se mostrado menos complicados do que se imaginava.

Quadro 1. Serviços ecossistêmicos observados por pesquisadores ao incluírem leguminosas forrageiras em pastagens de gramíneas

Consórcio	Serviço ecossistêmico	Referência	Local
Diversas gramíneas e Alfafa	Aumento da produção de forragem e teor de PB	Foster et al. (2013)	Canadá
Grama-bermuda e Trevo branco	Aumento da produção de forragem e ciclagem de N	McCurdy et al. (2014)	EUA
Grama-batatais e Amendoim-do-campo-baixo	Aumento da qualidade da serapilheira e ciclagem de N	Kohmann et al. (2018)	EUA
Capim-elefante e Amendoim forrageiro	Aumento da produção de forragem, teor de PB e eficiência de pastejo de bovinos de corte	Vieira et al. (2019)	Brasil
BRS Paiaguás e Estilosantes cv. Campo Grande	Aumento da produção de forragem, teor de PB e digestibilidade da MS	Epifanio et al. (2019)	Brasil
Capim-marandu e Amendoim forrageiro	Aumento do ganho de peso de bovinos de corte e reduziu aplicação de N inorgânico no solo (ureia)	Pereira et al. (2020)	Brasil
Múltiplas espécies	Reduziu emissões de GEE e melhorou a qualidade do leite de vacas Jersey	Carmona-Flores et al. (2020)	EUA
Capim-braquiária e Calopogônio	Aumentou teor de PB e reduziu aplicação de N inorgânico no solo (ureia)	Chaves et al. (2021)	Brasil
Capim-marandu e Amendoim forrageiro	Reduziu aplicação de N inorgânico no solo (ureia) e emissões de GEE (N_2O)	Guimarães et al. (2022)	Brasil
Capim-estrela Africana e diversas leguminosas	Aumentou capacidade de suporte dos pastos e ganho de peso por área (bovinos de corte).	Cavazzana et al. (2023)	Brasil

Alfafa (*Medicago sativa* L.). Grama bermuda [*Cynodon dactylon* (L.) Pers.]. Trevo branco (*Trifolium repens* L.). Grama-batatais (*Paspalum notatum* Flügge). Amendoim-do-campo-baixo (*Arachis glabrata* Benth.). Capim-elefante (*Cenchrus purpureus* Schum.). Amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* Krap. & Greg.). BRS Paiaguás [*Urochloa brizantha* (A. Rich.) cv. Paiaguás]. Estilosantes cv. Campo Grande (*Stylosanthes capitata* Vog. × *Stylosanthes macrocephala M. B.* Ferr. & N. S. Costa). Capim-marandu [*Urochloa brizantha* (A. Rich.) cv. Marandu]. Capim-braquiária (*Urochloa decumbens* Stapf. cv. Basilisk.). Calopogônio (*Calopogonium mucunoides*). Capim-estrela africana (*Cynodon nlemfuensis* L.) PB = proteína bruta. MS = matéria seca. N = nitrogênio. GEE = gases do efeito estufa. N_2O = óxido nitroso. EUA = Estados Unidos da América.

Estabelecimento de pastagens consorciadas

Estabelecer consórcios entre gramíneas, leguminosas e outras espécies forrageiras têm sido um desafio, que por vezes desencoraja profissionais da agropecuária (Silva et al., 2023). Um ponto crucial é como garantir boa proporção da leguminosa na composição botânica dos pastos, principalmente em consórcios com gramíneas tropicais que podem levar à supressão dessas plantas. Diferenças de hábito de crescimento, metabolismo fotossintético, eficiência no uso da radiação solar e de água podem dificultar a persistência da leguminosa no sistema (Longhini et al., 2021; Silva et al., 2023).

Neste contexto, o que definirá o sucesso de um determinado consórcio é a *compatibilidade*. O conceito de *compatibilidade* define-se pela proporção adequada da leguminosa na composição botânica, com o objetivo de garantir sua persistência nos pastos e possibilitar aporte de N no sistema, via fixação de N_2 e deposição de serapilheira (Andrade et al., 2015). Segundo Thomas et al. (1992), no contexto do Brasil, ou seja, considerando pastagens formadas por gramíneas tropicais com alto potencial produtivo, porcentagens entre 20 e 45% são consideradas adequadas para aportar N no sistema via introdução de leguminosas. Essas porcentagens dependerão justamente da boa *compatibilidade* entre as espécies cultivadas.

Para que isto ocorra, é importante que a leguminosa esteja protegida do superpastejo dos animais, por exemplo (Longhini et al., 2021). Como leguminosas forrageiras geralmente apresentam melhor valor nutricional que as gramíneas tropicais, em especial os teores de PB e digestibilidade, uma maior seletividade por parte dos animais pode levar ao desaparecimento dessas plantas nos pastos (Andrade, 2005). Algumas combinações de espécies já foram descritas como compatíveis neste sentido (Epifanio et al., 2019; Boddey et al., 2020; Chaves et al. 2021; Silva et al., 2023). Atualmente, o sucesso mais destacado no Brasil é o consórcio entre Capim-marandu [*Urochloa brizantha* (A. Rich.) cv. Marandu] e Amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* Krap. & Greg.). Pesquisadores que obtiveram respostas satisfatórias no estabelecimento e persistência da leguminosa, bem como no manejo da pastagem consorciada, justificaram os resultados principalmente pelo hábito de crescimento do Amendoim forrageiro (Homem et al., 2019; Pereira et al., 2020; Guimarães et al., 2022). Seu crescimento estolonífero e prostrado confere proteção contra o superpastejo, principalmente porque o Capim-marandu tem porte maior que outras espécies de braquiária (*Urochloa* spp.). Adicionalmente, o Amendoim forrageiro não depende de uma ressemeadura natural ao longo do seu ciclo fenológico, devido a sua propagação vegetativa por estolões (Longhini et al., 2021). Neste sentido, Silva (2018)

avaliou a persistência do Amendoim forrageiro cultivado em pastagem de Capim-braquiária (*Urochloa decumbens* Stapf. cv. Basilisk), e observou boa participação na composição botânica de junho de 2016 a maio de 2017, no pré-pastejo (média de 18,25%) e no pós-pastejo (média de 16,71%) de vacas mestiças Holandês × Zebu.

Outros consórcios foram relatados como de sucesso em pesquisas científicas. Souza et al. (2017) obtiveram altas taxas de sobrevivência da Cunhã (*Clitoria ternatea* L.) consorciada com o Capim-buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) em pastagem cultivada no Semiárido Brasileiro, com valores que variaram de 37,8 a 76,9%. Epifanio et al. (2019) observaram proporções de 26,6 até 46,0% do Estilosantes cv. Campo Grande (*Stylosanthes capitata* Vog. × *Stylosanthes macrocephala M. B.* Ferr. & N. S. Costa) na composição botânica, em pastos consorciados com BRS Paiaguás [*Urochloa brizantha* (A. Rich.) cv. Paiaguás] e BRS Piatã [*Urochloa brizantha* (A. Rich.) cv. Paiaguás] em uma região do Cerrado. Chaves et al. (2021) verificaram que o acúmulo de forragem praticamente dobrou (de 1,6 para 4,0 t ha^{-1}) quando vedaram pastagens de Capim-braquiária em monocultivo ou consorciada com Calopogônio (*Calopogonium mucunoides* Desv.) em Viçosa, Minas Gerais.

Nos casos da Cunhã e do Calopogônio, o hábito de crescimento volúvel (Figura 1) provavelmente contribuiu para o desenvolvimento nas pastagens de Capim-buffel e Capim-braquiária, respectivamente (Sharma e Shahzad, 2016; Oguis et al., 2019). A combinação entre leguminosas volúveis e gramíneas cespitosas pode aliviar a competição por radiação fotossinteticamente ativa (RAF) e ajudar na persistência da leguminosa nos pastos (Cook et al., 2005; Boddey et al., 2020; Silva et al., 2023).

Figura 1. Hábito de crescimento volúvel da Cunhã consorciada com Capim-elefante, Carpina-PE.

Entretanto, um dos entraves do estabelecimento de um consórcio é a decisão de como fazê-lo: (i) através da formação de novas pastagens, ou (ii) pela inclusão da leguminosa no sistema já formado (Homem et al., 2019). No caso da formação de novas pastagens, utilizar espécies herbáceas com sementes pequenas pode favorecer a semeadura simultânea com a gramínea. Sementes de Estilosantes cv. Campo Grande, Cunhã e Calopogônio são bons exemplos (Andrade et al., 2015; Silva, 2022). Já leguminosas forrageiras arbóreas, como a Leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit] e a Gliricidia, apresentam desenvolvimento inicial mais lento. No caso da Leucena, pode haver necessidade de quebra de dormência das sementes por escarificação física ("raspar a semente"). Neste cenário, a produção de mudas seguida de transplantio é mais indicada, geralmente para formar sistemas silvipastoris (Shelton, 2019). No caso do Amendoim forrageiro, a propagação vegetativa é bem mais utilizada do que aquela feita por sementes, pois a geocarpia (produção de semente abaixo do solo) dificulta a produção em larga escala. A propagação vegetativa geralmente garante ótimo estabelecimento, mas é bastante trabalhosa, com dificuldades consideráveis, dependendo do tamanho da área a ser formada (Andrade et al., 2015).

Independentemente da leguminosa forrageira consorciada, é fundamental favorecer seu desenvolvimento e persistência nos pastos através de práticas de manejo. No caso do plantio simultâneo, uma boa estratégia é reduzir a taxa de semeadura da gramínea e antecipar o primeiro pastejo para evitar o sombreamento da leguminosa, já que o capim utilizado se desenvolverá mais rápido (Andrade et al., 2015)· Por outro lado, se o objetivo é incluir leguminosas em sistemas já formados, deve-se reduzir a altura da pastagem antes do plantio da leguminosa, para permitir seu melhor desenvolvimento. Isto pode ser feito através de um superpastejo inicial ou ainda com roçagem. Homem et al. (2019) avaliaram o estabelecimento de Amendoim forrageiro em pastagens de Capim-braquiária já formadas (32 meses) e manejadas sob lotação contínua. Os autores concluíram que reduzir a altura média dos pastos no início do período chuvoso, de 30-40 para 10 cm, é uma boa estratégia para aumentar a proporção da leguminosa na composição botânica.

Por muito tempo, estabelecer consórcios perenes entre gramíneas e leguminosas forrageiras era visto como tarefa quase impossível. Atualmente, com o avanço em tecnologias, práticas de manejo e desenvolvimento de novas cultivares de leguminosas adaptadas e estáveis à diferentes condições ambientais, este desafio tem sido encarado com mais entusiasmo por pesquisadores, pecuaristas e outros profissionais da área (Andrade et al., 2015; Homem et al., 2019; Boddey et al., 2020; Sollenberger e Dubeux, 2022).

Manejo do pastejo em consórcios

Nos sistemas de produção animal em pastagens, existem 3 etapas ou processos de transformação para obtenção do produto (carne, leite, lã e outros): (i) *crescimento*, que é definido pela transformação da planta em forragem produzida; (ii) *utilização*, que é a maneira pela qual a forragem produzida será consumida; e (iii) a *conversão*, definida pela transformação da forragem consumida em produto (Reis et al., 2013). Em manejo de pastagens, a etapa de *utilização* refere-se ao manejo do pastejo, tão ou mais importante que as demais, principalmente porque sua eficiência é muito variável e depende muito de decisões de manejo.

O pastejo, ou seja, o acesso dos animais às plantas forrageiras do sistema, é controlado pela frequência e pela intensidade de desfolha (Da Silva et al., 2015; Silva et al., 2021). A intensidade de pastejo é medida pela taxa de lotação animal frente à capacidade de suporte das pastagens. Na prática, isto refere-se à altura em que o pasto será mantido no caso de pastejo sob lotação contínua, ou da altura de

resíduo pós-pastejo no manejo sob lotação rotacionada. Já a frequência refere-se ao intervalo de desfolha das plantas forrageiras. No manejo sob lotação contínua, a frequência de desfolha é controlada pela seletividade dos animais e taxa de lotação adotada (que pode e deve ser variável). Por outro lado, no manejo sob lotação rotacionada, a frequência é definida pelo acesso limitado aos piquetes através da dinâmica de "período de ocupação × período de descanso" (Da Silva e Nascimento Jr., 2007; Silva et al., 2021).

No Brasil, pesquisas científicas realizadas nas últimas décadas têm apontado incrementos significativos na qualidade do pasto e no desempenho animal ao utilizar o chamado manejo morfofisiológico ao invés de dias-fixos. A adoção do índice de área foliar crítico (IAF quando a interceptação luminosa alcança 95%) como critério de frequência de pastejo em lotação rotacionada de forrageiras tropicais tem proporcionado melhores respostas do que a adoção de dias fixados para entrada e saída dos animais nos piquetes (Da Silva e Nascimento Jr., 2007; Da Silva et al., 2015). Isto porque, a forragem colhida pelos animais apresenta maior proporção de folhas verdes e menores porcentagens de material morto e colmos alongados e excessivamente lignificados, quando tal critério é utilizado (Gastal e Lemaire, 2015). Na prática, a adoção do IAF crítico é convertida em altura de entrada nos piquetes para facilitar o manejo do pastejo, sendo variável de acordo com a espécie que forma a pastagem. Por exemplo, a altura de entrada e saída em pastos de Capim-elefante de porte alto normalmente é de 100 cm, enquanto a altura de resíduo (saída) é 40-50 cm (Carvalho et al., 2005). Já para as cultivares anãs (p. ex., Mott e BRS Kurumi), as alturas de entrada e saída que podem ser adotadas são 70 e 30 cm, respectivamente (Viana et al., 2018).

Porém, é importante ressaltar que o IAF crítico depende também de fatores ecológicos envolvidos no sistema, já que variações edafoclimáticas podem modificar a relação entre interceptação luminosa (IL) e IAF. Este tipo de critério de manejo pode não ser o mais adequado para o Semiárido Brasileiro, por exemplo (Coêlho et al., 2014; Silva et al., 2021). Já no manejo sob lotação contínua, a manutenção de uma altura média do pasto tem melhorado a eficiência de pastejo e a qualidade da forragem colhida pelos animais (Da Silva e Nascimento Jr., 2007; Sbrissia et al., 2020).

Em pastagens consorciadas, o manejo do pastejo é importante para a manutenção da qualidade dos pastos formados, mas também para a sobrevivência da leguminosa. Como mencionado anteriormente, em consórcios há competição por luminosidade, água e nutrientes do solo, e a desfolha pode afetar diretamente esta competitividade (Pereira et al., 2017). Nos últimos anos, pesquisadores têm observado que o manejo do pastejo em consórcios pode ser bastante similar aquele praticado

em pastos formados exclusivamente por gramíneas. Isto porque, a *compatibilidade* entre as espécies pode aliviar a competitividade interespecífica por luz (Boddey et al., 2020; Longhini et al., 2021). Em alguns consórcios, a leguminosa ocupa o estrato inferior do dossel forrageiro (Figura 2), o que garante sua sobrevivência e persistência (Andrade et al., 2015).

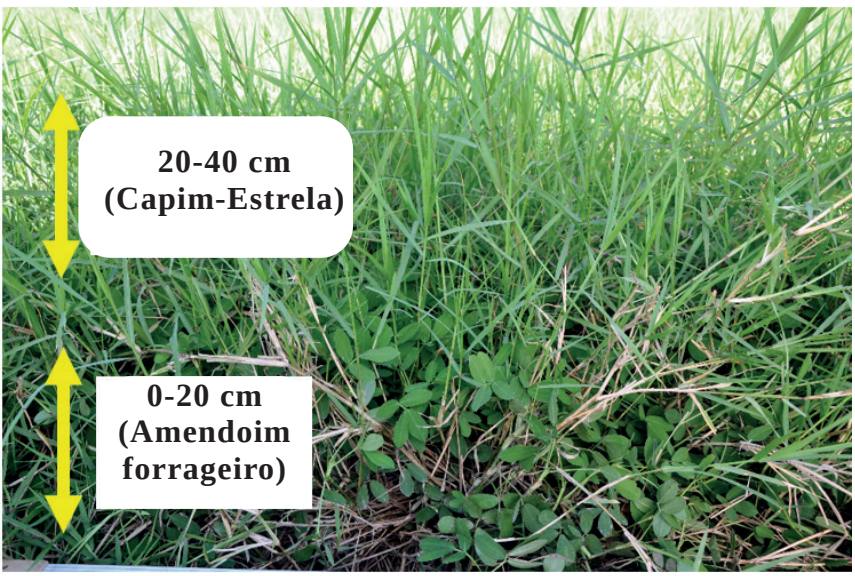

Figura 2. Pasto consorciado entre Capim-estrela-roxa (*Cynodon nlemfuensis*) e amendoim forrageiro cv. Belmonte (*Arachis pintoi* Krap. & Greg.), manejado sob lotação rotacionada por 10 anos, Rio Branco, Acre.

Fonte: Andrade et al. (2015).

Pereira et al. (2017) compararam pastos consorciados de Capim-marandu e Amendoim forrageiro, manejados sob frequências de desfolha de 90, 95 e 100% de IL e altura de resíduo de 15 cm (intensidade de desfolha). Os autores relataram que o tratamento de 100% de IL, ou seja, uma altura de entrada mais elevada (40 cm) levou a um maior acúmulo de estolões do Amendoim forrageiro e colmos do Capim-marandu, fato que piorou a qualidade da forragem. Assim, os autores recomendaram uma altura de entrada nos piquetes variando de 26 a 32 cm, ou seja, quando os pastos interceptaram 90 ou 95% da luz incidente. Gomes et al. (2018) observaram redução no consumo de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e matéria orgânica (MO) de novilhas da raça Tabapuã recriadas nesses mesmos pastos consorciados

e manejados a 100% de IL (altura de entrada de 40 cm), comparativamente aos demais tratamentos. Os autores destacaram a similaridade de manejo, em relação ao monocultivo do Capim-marandu.

Já Alviarez et al. (2020), testaram as frequências de 90, 95 e 100% de IL em pastos consorciados de Capim-marandu e Calopogônio, que é uma leguminosa volúvel, diferentemente do Amendoim forrageiro que é estolonífero. Ainda assim, os autores também sugeriram utilizar 95% de IL como critério, ao invés do IAF máximo (100% de IL). As alturas de entrada nos piquetes foram 21, 26 e 36 cm para 90, 95 e 100% de IL, respectivamente. No entanto, os autores relataram que a recuperação do Calopogônio na pastagem pode levar até 2 anos, ou seja, sua participação na composição botânica dos pastos pode ser comprometida dependendo da estação do ano, considerando o ciclo fenológico da leguminosa. Já Depablos et al. (2021), observaram que o critério de 100% de IL (36 cm de altura de entrada nos piquetes) reduziu o consumo de N por novilhas da raça Tabapuã, e também reduziu a ciclagem deste nutriente nas pastagens consorciadas. Assim, os autores concluíram que o manejo de 95% (26 cm de altura de entrada) melhora a ciclagem e a eficiência do uso de N na pastagem consorciada entre Capim-marandu e Calopogônio.

Como mencionado anteriormente, o manejo do pastejo pode ser afetado por fatores ecológicos, ainda mais em pastagens consorciadas. Algumas espécies leguminosas apresentam estratégias distintas para sobreviver aos períodos secos do ano. Elas podem ser caducifólias, podem aumentar a produção de vagens e sementes, ou mesmo paralisar seu crescimento (Araújo Filho, 2013; Azani et al., 2017; Oguis et al., 2019). Essas estratégias podem reduzir a participação das leguminosas na composição botânica dos pastos, dependendo das condições ambientais e época do ano, fato que também deve ser considerado no manejo.

No entanto, algumas leguminosas tropicais como Amendoim forrageiro, Cunhã, Estilosantes e Calopogônio mostraram-se promissoras em consórcios com gramíneas muito produtivas e agressivas como o Capim-marandu e o Capim-elefante, principalmente ao utilizar critérios de desfolha parecidos com aqueles implementados para o monocultivo dos capins (Epifanio et al., 2019; Longhini et al., 2021; Depablos et al., 2021; Silva et al., 2023). Esses resultados reforçam a total possibilidade de implantação e manejo adequado de pastagens consorciadas em regiões tropicais, como no caso do Brasil.

Enriquecimento da Caatinga: consórcio de múltiplas espécies

A vegetação da Caatinga produz um contexto muito particular em relação à condição de suas pastagens naturais. As espécies nativas e exóticas comumente encontradas no bioma formam consórcios entre gramíneas, leguminosas e plantas de outras famílias que se dividem em estratos herbáceos, arbustivos e arbóreos (Araújo Filho, 2013). A massa de forragem apresenta em média 5 t ha^{-1} ano^{-1} com alta sazonalidade de produção, com massa de forragem muito maior no período chuvoso do que no seco. Assim, a capacidade de suporte desses pastos naturais não é superior a 0,5 UA ha^{-1} ano^{-1} (Dubeux Jr.et al., 2017). Outro ponto peculiar está na oferta de forragem, já que a maior parte da vegetação com potencial forrageiro fica fora do alcance dos animais porque estão no estrato arbóreo (Pessoa et al., 2022). Há possibilidade de manejo sob corte para diversas árvores e arbustos que existem na própria Caatinga, mas também há possibilidade de formação de bancos forrageiros. A Leucena, a Jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* Benth.), a Jureminha (*Desmanthus pernambucanus* a Gliricídia, a Canafístula (*Peltophorum dubium*), o Mororó [*Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud] e a Sabiá são leguminosas arbóreas/arbustivas normalmente utilizadas na alimentação animal em regiões semiáridas (Ramos-Trejo et al., 2019; Herrera et al., 2020; Oliveira et al., 2022; Medeiros et al., 2022b).

Entretanto, o estrato pastejável da Caatinga, formado pelas plantas herbáceas e arbustivas, apresenta elevado potencial e pode ser utilizado sob pastejo caso seja bem manejado (Nunes et al., 2015). Essas plantas geralmente apresentam elevado teor de PB e algumas têm excelente aceitabilidade por parte de ruminantes, como no caso da malva-branca (*Sida galheirensis* Ulbr.) e do feijão-de-rolinha (*Rhynchosia minima* DG.) (Medeiros et al., 2022). Assim, as vegetações herbáceas e arbustivas da Caatinga podem ser manipuladas para formar pastagens consorciadas de múltiplas espécies com excelente qualidade (Araújo Filho, 2013).

A manipulação da Caatinga é a modificação induzida pelo homem na cobertura florística da área, visando adequá-la aos objetivos da exploração desejada, que pode ser agrícola, madeireira ou pastoril (Araújo Filho, 2013). A manipulação dessa vegetação pode ser feita através de tecnologias bem conhecidas e estabelecidas, como o *rebaixamento*, o *raleamento*, o *pousio* e sem especial, o *enriquecimento* com espécies exóticas. Estas técnicas podem ser adotadas isoladamente, em conjunto ou subsequentemente (Conrado et al., 2020; Pessoa et al., 2022).

O *pousio* é um intervalo prolongado entre dois cultivos, ou ainda um intervalo longo da ocupação dos pastos pelos animais, visando recuperação da vegetação

original e da fertilidade do solo (Pessoa et al., 2022). Já *rebaixamento* é a prática de redução da vegetação lenhosa, no período seco do ano, para aumentar a participação do estrato arbustivo e herbáceo na composição botânica das pastagens no período chuvoso subsequente. Além disso, o próprio estrato arbóreo fica acessível aos animais, com a rebrota de caules e folhas novas que geralmente apresentam bom valor nutritivo (Conrado et al., 2020). O *raleamento* é um controle seletivo de espécies arbóreas e arbustivas, com o objetivo de reduzir sombreamento para aumentar a participação do estrato herbáceo na massa de forragem. Atualmente, o *raleamento* e o *rebaixamento* têm sido propostos em faixas para preservar a vegetação nativa e aumentar a participação do estrato herbáceo na oferta de forragem (Conrado et al., 2019).

Entretanto, a maior parte do estrato herbáceo nativo da Caatinga é composto por espécies anuais, ou seja, espécies cujo ciclo de via se encerra em apenas um ano. Geralmente essas espécies formam bancos de sementes para garantir sua sobrevivência, mas isto reduz bastante a oferta de forragem ao longo do ano (Conrado et al., 2020). O *enriquecimento* da Caatinga com gramíneas forrageiras perenes tem como objetivo aumentar oferta de forragem, recompor pastagens degradadas e com solo descoberto, garantir persistência das espécies nos pastos formados e aumentar a biodiversidade do estrato herbáceo. Nos últimos anos, gramíneas exóticas como o Capim-buffel, o Capim-andropogon (*Andropogon gayanus* Kunth. vax. Hochst), o Capim-massai (*Megathyrsus maximus* Jacq.) e o Capim-corrente [*Urochloa mosambicensis* (Hanck). Dandy] têm sido utilizadas para o *enriquecimento* da Caatinga com bastante sucesso, já que são plantas adaptadas ao clima semiárido (Formiga et al., 2012; Oliveira Neto et al., 2018; Araújo et al., 2019).

A inclusão dessas gramíneas no sistema resulta em consórcios de múltiplas espécies mono e dicotiledôneas com bom valor nutricional para alimentação animal. É interessante notar que a formação do consórcio, neste caso, se dá pela inclusão da gramínea forrageira e não da leguminosa, como normalmente acontece.

O estabelecimento de uma pastagem enriquecida começa pelo *raleamento*, mas com preservação de pelo menos 150 a 200 árvores e cobertura do solo entre 15 e 20% (Rangel et al., 2020). Desta forma, espécies nativas e introduzidas poderão ter boas taxas de crescimento e desenvolvimento. Para melhor estabelecimento, recomenda-se adubação fosfatada com doses de até 100 kg ha^{-1} de P_2O_5. A vedação da área por pelo menos um ano (*pousio*) também é altamente recomendada (Araújo Filho, 2013). Oliveira Neto et al. (2018) ralearam e depois enriqueceram pastagens naturais de Caatinga com Capim-buffel e Capim-corrente, em Serra Talhada, Pernambuco, aplicando doses de 0, 50 e 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 em um processo de

pousio que durou 2 anos. Os autores reportaram que a adubação fosfatada com 100 kg ha^{-1} P_2O_5 elevou a massa de forragem de 2,4 para 8,0 t ha^{-1} de MS, além de ter aumentado a participação do Capim-buffel na composição botânica dos pastos em 74%, mas com boa biodiversidade de espécies nativas. No município de Sobral, Ceará, Conrado et al. (2019), enriqueceram área de vegetação nativa da Caatinga com Capim-buffel e Capim-massai, mas cultivados em faixas que foram raleadas. Os autores observaram uma biodiversidade do estrato herbáceo bem maior nas faixas raleadas (14 espécies) do que nas áreas sem manejo (apenas 3). Além disso, o Capim-massai contribuiu com um aporte de aproximadamente 3,0 t ha^{-1} MS, enquanto o Capim-buffel contribuiu com um aporte de 1,8 t ha^{-1} MS.

O *enriquecimento* é uma prática de manejo que resulta em pastos consorciados de múltiplas espécies mono e dicotiledôneas, como mencionado anteriormente. Para o contexto da Caatinga, o estabelecimento desses consórcios pode resultar em diversos serviços ecossistêmicos já relatados anteriormente, que contribuem no combate ao processo de desertificação do bioma.

Introduzir leguminosas em capineiras: uma nova perspectiva

Plantas forrageiras cultivadas em capineiras são colhidas sob corte manual ou mecânico e fornecidas aos animais, ou ainda utilizadas para produção de silagem. Geralmente, plantas muito produtivas como o Capim-elefante e o Capim-Guatemala (*Tripsacum laxun* Nash.) são manejadas desta forma, pois o objetivo principal é produzir grandes quantidades de forragem em áreas agricultáveis com tamanho reduzido. As perdas são menores do que aquelas de sistemas de pastejo, e a eficiência de uso da forragem é bastante elevada (Silva et al., 2021). Isto ocorre porque a intensidade de corte é alta (alturas de resíduo até 5 cm do solo), resultando em renovação quase que total dos tecidos vegetais, provenientes dos carboidratos de reserva localizados na base da planta e nas raízes (Silva et al., 2023). Porém, a colheita e o fornecimento no cocho podem aumentar o custo de produção, e principalmente, a pouca quantidade de serapilheira depositada por plantas manejadas sob corte reduz a ciclagem de nutrientes, em especial aquela de N (Liu et al., 2011; Dubeux Jr. e Sollenberger, 2020).

Outra implicação de sistemas de produção de forragem sob corte é a necessidade de adubação. As espécies geralmente cultivadas em capineiras são altamente exigentes em fertilidade, e a falta de reposição pode rapidamente levar a degradação e erosão do solo. Por outro lado, a adubação com fertilizantes inorgânicos nitrogenados impacta consideravelmente o custo de produção (Silva

et al., 2021). Neste contexto, incluir leguminosas forrageiras nas entrelinhas de gramíneas forrageiras altamente produtivas (Figura 3) pode atenuar esses efeitos, e promover diversos serviços ecossistêmicos já citados anteriormente (p. ex., aumento na ciclagem de nutrientes, melhoria do valor nutritivo da forragem e redução da emissão de GEE).

Figura 3. Capim-elefante cv. Mott (*Cenchrus purpureus* Schum. cv. Mott) consorciado com Cunhã (*Clitoria ternatea* L.), manejados sob corte, Carpina-PE.

Maioritariamente, os consórcios gramínea-leguminosa são propostos para pastagens já que capineiras são formadas em áreas que, por vezes, exige mecanização durante a colheita. Assim, ter espécies cultivadas nas entrelinhas pode dificultar o processo.

Todavia, alguns autores relataram a viabilidade deste tipo de consórcio em capineiras ou em plantas manejadas sob corte manual e mecanizado (Khippal et al., 2016; Astuti et al., 2020; Arif et al., 2022; Silva et al., 2023). Silva et al. (2023)

avaliaram consórcios de genótipos de Capim-elefante com Cunhã (*Clitoria ternatea* L.) manejados sob corte, estabelecidos num espaçamento de 1,0 m entrelinhas. Os autores mantiveram intensidades de corte rente ao solo para o capim e a 20 cm de solo para a leguminosa, e observaram aumento no teor de carboidratos não-fibrosos na forragem colhida, comparativamente ao monocultivo dos genótipos de capim-elefante. Além disso, não foram observadas redução na eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa (RAF) quando plantaram a Cunhã nas entrelinhas do capim-elefante, nem supressão da leguminosa ao longo de 8 cortes realizados em 2 anos. Isto é particularmente importante sob o aspecto da competição entre as espécies no consórcio, ou seja, a boa eficiência no uso da RAF sugere boa compatibilidade entre as espécies, mesmo manejadas sob corte e com grandes diferenças de porte. Como mencionado anteriormente, os hábitos de crescimento cespitoso e volúvel, do Capim-elefante e da Cunhã respectivamente, proporcionaram essa boa compatibilidade (Andrade et al., 2015). Araújo Filho et al. (1996) reportaram incrementos de produtividade ao consorciar Capim-elefante com Cunhã manejados sob corte, de 11 para 22 t ha^{-1} ano^{-1}.

Iqbal et al. (2019) realizaram uma revisão sobre a produção de matéria seca e valor nutricional de consórcios entre Sorgo (*Sorghum bicolor* L.) e leguminosas forrageiras como Feijão guandu, Lab-Lab [*Lablab purpureus* (L.) Sweet] e Feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.). Os autores reportaram incrementos de 18 a 52% na biomassa colhida, além de aumentos de 0,97 a 12,68% nos teores de PB. Os autores observaram que esses consórcios foram estabelecidos em linhas, em faixas ou a lanço, todos com sucesso em melhorar produção e qualidade da forragem colhida.

Mais estudos são necessários para identificar consórcios compatíveis para o manejo sob corte, principalmente porque os ajustes de frequência e intensidade de colheita (intervalo e altura de corte, respectivamente) são bem diferentes daqueles praticados em pastagens (Silva et al., 2021). Todavia, recentes estudos têm demonstrado a viabilidade do cultivo de leguminosas nas entrelinhas de gramíneas que formam capineiras.

Considerações finais

O estudo e manejo de pastagens consorciadas tiveram inúmeros avanços nas últimas décadas, no Brasil e no mundo, fato que serviu de incentivo para a adoção de sistemas de produção de forragem com diferentes combinações de espécies. O consórcio de Capim-marandu e Amendoim forrageiro teve grande destaque e foi alvo de diversos estudos nos últimos anos, devido à boa compatibilidade das espécies considerando seus hábitos de crescimento cespitoso e estolonífero, respectivamente. Entretanto, outras combinações surgem como promissoras, como no caso do Capim-elefante consorciado à Cunhã, ou cultivares de braquiária como o BRS Paiaguás e o BRS Piatã consorciados ao Estilosantes Campo Grande.

Vale a pena ressaltar a contribuição de consórcios entre gramíneas, leguminosas e outras espécies para os diversos serviços ecossistêmicos de pastagens. A ciclagem de nutrientes, em especial o N, a melhoria da dieta dos animais e a redução da emissão de gases do efeito estufa são os serviços mais destacados. No contexto do Semiárido Brasileiro, a mistura de espécies via introdução de gramíneas também tem potencial para aumentar oferta de forragem e ajudar no combate à desertificação da Caatinga.

Adicionalmente, faz-se necessário desenvolver novas estratégias para estabelecimento e manejo do pastejo em consórcios. Selecionar novas variedades de leguminosas ou encontrar potencial em novas espécies também é fundamental para garantir persistência e perenidade das pastagens consorciadas.

Referências

ALVIAREZ, L. A. D. et al. Managing “Marandu” palisadegrass and calopo pastures based on light interception. **Grass and Forage Science**, v. 75, n. 4, p. 447-461, 2020.

ANDRADE, C. M. S. et al. **Eficiência de longo prazo da consorciação entre gramíneas e leguminosas em pastagens tropicais**. *In*: **XXV Congresso Brasileiro de Zootecnia – Zootec 2015**, 24 ed, Fortaleza. Anais [...] Fortaleza: XXV Congresso Brasileiro de Zootecnia, 2015. p 1-31.

ARAÚJO FILHO, J. A. (Ed.). **Manejo pastoril sustentável da caatinga**. Recife: Projeto Dom Helder Camara, 2013.

ARAÚJO FILHO, J. A. et al. Consorciação do capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) e da cunhã (*Clitoria ternatea* L.) sob quatro intervalos de corte. **Pasturas Tropicales**, v. 18, n. 1, p. 47-50, 1996.

ARIF, M.; KUMAR, A.; POUROUCHOTTAMANE, R. Pearl millet and cluster bean intercropping for enhancing fodder productivity, profitability and land use efficiency. **Bangladesh Journal of Botany**, v. 51, n. 1, p. 103-112, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES (ABIEC). **Beef report – Perfil da pecuária no Brasil, 2022**. Disponível em: http://abiec.com.br/publicacoes/beefreport-2022/.

ASTUTI, D. et al. Effect of density between intercropped sorghum and stylosanthes on biomass production and quality under varying NPK fertilizer application rates. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 23, p. 197-205, 2020.

AZANI, N. et al. A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny: The Legume Phylogeny Working Group (LPWG). **Taxon**, v. 66, n. 1, p. 44-77, 2017.

BODDEY, R. M. et al. Forage legumes in grass pastures in tropical Brazil and likely impacts on greenhouse gas emissions: A review. **Grass and Forage Science**, v. 75, n. 4, p. 357-371, 2020.

CARMONA-FLORES, L. et al. Milk production, N partitioning, and methane emissions in dairy cows grazing mixed or spatially separated simple and diverse pastures. **Animals**, v. 10, n. 8, p. 1301, 2020.

CARVALHO, C. A. B. et al. Composição morfológica da pastagem de capim-elefante em relação à altura de resíduo pós-pastejo e classes de perfilhos. **Boletim de Indústria Animal**, v. 62, n. 1, p. 45-54, 2005.

CAVAZZANA, J. F. et al. Beef steer performance on African Bermuda grass pasture overseeded with black oat and annual ryegrass: effects of added irrigation and temperate legumes. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 43, n. 1, p. 9, 2023.

CHAVES, C. S. et al. Signal Grass Deferred Pastures Fertilized with Nitrogen or Intercropped with Calopo. **Agriculture**, v. 11, n. 9, p. 804, 2021.

COÊLHO, J. J. et al. **Canopy height and its relationship with leaf area index and light interception of tropical grasses**, v. 2, p. 31-32, 2014.

CONRADO, J. A. et al. Management of natural pasture increases native and exotic herbaceous biomass and biodiversity in the Caatinga of Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 2, p. 867-884, 2019.

CONRADO, J. A. et al. Manipulation of natural grassland in semiarid region: a review. **Revista Científica Rural**, v. 22, n. 2, p. 177-191, 2020.

COOLEDGE, E. C. et al. Agronomic and environmental benefits of reintroducing herb and legume-rich multispecies leys into arable rotations: a review. **Frontiers of Agricultural Science and Engineering**, v. 9, n. 2, p. 245-271, 2022.

DA SILVA, S. C.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 122-138, 2007.

DA SILVA, S. C.; SBRISSIA, A. F.; PEREIRA, L. E. T. Ecophysiology of C4 forage grasses—understanding plant growth for optimising their use and management. **Agriculture**, v. 5, n. 3, p. 598-625, 2015.

DEPABLOS, L. et al. Nitrogen cycling in tropical grass-legume pastures managed under canopy light interception. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 121, n. 1, p. 51-67, 2021.

DIAS-FILHO, M. B. (4 ed. ver., atual. e ampl.). Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias. Belém: Ed. do próprio autor.

DUBEUX JR., J. C. B.; SOLLENBERGER, Lynn E. Nutrient cycling in grazed pastures. In: **Management strategies for sustainable cattle production in southern pastures**. Academic Press, 2020. p. 59-75.

DUBEUX, J. C. B. et al. Tree legumes: an underexploited resource in warm-climate silvopastures. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, p. 689-703, 2017.

EPIFANIO, P. S. et al. Productive and nutritional characteristics of Brachiaria brizantha cultivars intercropped with Stylosanthes cv. Campo Grande in different forage systems. **Crop and Pasture Science**, v. 70, n. 8, p. 718-729, 2019.

FORMIGA, L. D. A. S. et al. Forage supply in thinned Caatinga enriched with buffel grass (Cenchrus ciliaris L.) grazed by goats and sheep. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 34, p. 189-195, 2012.

FOSTER, A. et al. Forage yield of simple and complex grass–legume mixtures under two management strategies. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 94, n. 1, p. 41-50, 2014.

GASTAL, F.; LEMAIRE, G. Defoliation, shoot plasticity, sward structure and herbage utilization in pasture: Review of the underlying ecophysiological processes. **Agriculture**, v. 5, n. 4, p. 1146-1171, 2015.

GOMES, F. K. et al. Defoliation frequency affects litter responses and nitrogen excretion by heifers in palisadegrass–forage peanut pastures. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 4, p. 3089-3100, 2020.

GUIMARÃES, B. C. et al. Emissions of N_2O and NH_3 from cattle excreta in grass pastures fertilized with N or mixed with a forage legume. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 122, n. 3, p. 325-346, 2022.

HERRERA, A. M. et al. Decomposition of senescent leaves of signalgrass (Urochloa decumbens Stapf. R. Webster) and arboreal legumes in silvopastoral systems. **Agroforestry Systems**, v. 94, p. 2213-2224, 2020.

HOMEM, B. G. C. et al. Increasing the population of forage peanut in a mixed pasture by controlling the canopy height. **Grass and Forage Science**, v. 74, n. 3, p. 571-575, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário 2017: Resultados Definitivos**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. 109 p.

IQBAL, M. A. et al. Forage sorghum-legumes intercropping: effect on growth, yields, nutritional quality and economic returns. **Bragantia**, v. 78, p. 82-95, 2019.

KHATIWADA, B. et al. Benefits of mixed grass–legume pastures and pasture rejuvenation using bloat-free legumes in western Canada: a review. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 100, n. 5, p. 463-476, 2020.

KHIPPAL, A. et al. Mechanized Intercropping of Legumes in Spring Planted Sugarcane. **Vegetos**, p. 52, 2016.

KOHMANN, M. M. et al. Nitrogen fertilization and proportion of legume affect litter decomposition and nutrient return in grass pastures. **Crop Science**, v. 58, n. 5, p. 2138-2148, 2018.

KU-VERA, J. C. et al. Role of secondary plant metabolites on enteric methane mitigation in ruminants. **Frontiers in Veterinary Science**, a584, 2020.

LEE, M. A. A global comparison of the nutritive values of forage plants grown in contrasting environments. **Journal of plant research**, v. 131, p. 641-654, 2018.

LEMAIRE, G. et al. (Ed.). **Grassland productivity and ecosystem services**. Wallingford: Cabi, 2011.

LIU, K. et al. Distribution of nutrients among soil–plant pools in 'Tifton 85'bermudagrass pastures grazed at different intensities. **Crop Science**, v. 51, n. 4, p. 1800-1807, 2011.

MARZINZIG, B. et al. Bee pollinators of faba bean (Vicia faba L.) differ in their foraging behaviour and pollination efficiency. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 264, p. 24-33, 2018.

MCCARTHY, K. M. et al. Herb species inclusion in grazing swards for dairy cows—A systematic review and meta-analysis. **Journal of Dairy Science**, v. 103, n. 2, p. 1416-1430, 2020.

MCCURDY, James D. et al. White clover inclusion within a bermudagrass lawn: Effects of supplemental nitrogen on botanical composition and nitrogen cycling. **Crop Science**, v. 54, n. 4, p. 1796-1803, 2014.

MEDEIROS, A. S. et al. Morphology, accumulation and survival of Desmanthus under different planting densities and harvest heights. **Grass and Forage Science**, v. 77, n. 3, e12586, 2022b.

MEDEIROS, G. R. et al. **Forragens adaptadas ao Semiárido: impactos na cadeia produtiva do Nordeste**. *In*: **II Simpósio Paraibano de Conservação e Utilização de Forragens**, 2 ed, 2022, Areia. Anais [...] Recife: Even3 Publicações, 2022a. p. 164-175.

MIRANDA, S. B. M. et al. Proportion and digestibility of tree legumes in diets of grazing cattle in a tropical silvopastoral system. **Livestock Science**, v. 252, p. 104689, 2021.

NUNES, A. T. et al. Local knowledge about fodder plants in the semi-arid region of Northeastern Brazil. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v. 11, n. 1, p. 1-12, 2015.

OGUIS, G. K. et al. Butterfly pea (Clitoria ternatea), a cyclotide-bearing plant with applications in agriculture and medicine. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 645, 2019.

OLIVEIRA NETO, P. M. et al. Dynamics of herbaceous vegetation in Caatinga manipulated with grazing exclusion under phosphate fertilization. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 4, p. 1027-1039, 2018.

OLIVEIRA, O. F. et al. Condensed tannins bioactivity and nutritional value of Bauhinia cheilantha (Bong) Steud. under sheep grazing and different forage allowances. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 100, e104359, 2022.

PEREIRA, J. C. et al. Defoliation management affects morphogenetic and structural characteristics of mixed pastures of brachiaria grass and forage peanut. **African Journal of Range & Forage Science**, v. 34, n. 1, p. 13-19, 2017.

PEREIRA, J. M. et al. Production of beef cattle grazing on Brachiaria brizantha (Marandu grass)—Arachis pintoi (forage peanut cv. Belomonte) mixtures exceeded that on grass monocultures fertilized with 120 kg N/ha. **Grass and Forage Science**, v. 75, n. 1, p. 28-36, 2020.

PESSOA, R. M. S. et al. Forage availability and weight gain of goats on Caatinga enriched with Urochloa trichopus (Hochst.) Stapf subjected to fallowing and fertilized with phosphate. **Ciência Animal Brasileira**, v. 23, e70080, 2022.

RAMOS-TREJO, O. S. et al. Growth, forage yield and quality of Morus alba L. and Gliricidia sepium (Jacq.) Walp. in mixed and pure fodder bank systems in Yucatan, México. **Agroforestry Systems**, v. 94, n. 1, p. 151-157, 2020.

REIS, R. A.; BERNARDES, T. F.; SIQUEIRA, G. R. **Forragicultura: ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiros**. Jaboticabal: Maria de Lourdes Brandel – ME, 2013. 714p.

SBRISSIA, A. F. et al. Unravelling the relationship between a seasonal environment and the dynamics of forage growth in grazed swards. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 206, n. 5, p. 630-639, 2020.

SCHULTZE-KRAFT, R. et al. Tropical forage legumes for environmental benefits: An overview. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v. 6, n. 1, p. 1-14, 2018.

SHARMA, S.; SHAHZAD, A. Climbers: Evolution and Diversification in Angiosperm. *In*: **Biotechnological strategies for the conservation of medicinal and ornamental climbers**, Charm: Springer, 2016. p. 3-19.

SHELTON, H. M. Leucaena species: tree legumes for warm climates. **Legume Perspectives**, v. 17, p. 20-22, 2019.

SILVA, A. B. et al. Agricultural answers and chemical composition of Massai grass under different nitrogen doses and urea sources. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 39, n. 3, p. 1225-1238, 2018.

SILVA, P. H. F. et al. Radiation use efficiency and canopy structure of contrasting elephant grass varieties grown as monocrops and intercrops with butterfly pea. **The Journal of Agricultural Science**, v. 162, p. 1-33, 2023.

SILVA, P. H. F. et al. Tall and short-sized elephant grass genotypes: morphophysiological aspects cut-and-carry, and grazing management. **Ciência Rural**, v. 51, e20200848, 2021.

SILVA, J. V. C. **Participação de leguminosas herbáceas em pastagens consorciadas com *Brachiaria decumbens* Stapf.** Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 75f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), 2018.

SILVA, T. B. S. **Respostas produtivas e qualitativas de leguminosas forrageiras sob diferentes sistemas de cultivo**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 78f. Tese (Doutorado em Zootecnia), 2022.

SOLLENBERGER, L. E.; DUBEUX JR, J. C. B. Warm-climate, legume-grass forage mixtures versus grass-only swards: An ecosystem services comparison. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 51, e20210198, 2022.

SOUZA, A. H. C. et al. Productivity and morphological characteristics of buffel grass intercropped with butterfly pea under shade conditions. **Bioscience Journal**, v. 33, n. 4, p. 979-989, 2017.

THOMAS, R. J. The role of the legume in the nitrogen cycle of productive and sustainable pastures. **Grass and forage science**, v. 47, n. 2, p. 133-142, 1992.

TONTINI, J. F. et al. Dispersal and concentration of sheep gastrointestinal nematode larvae on tropical pastures. **Small Ruminant Research**, v. 174, p. 62-68, 2019.

TOTTY, V. K. et al. Nitrogen partitioning and milk production of dairy cows grazing simple and diverse pastures. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 1, p. 141-149, 2013.

VIANA, B. L. et al. Morphological characteristics and proportion of leaf blade tissues of elephant grass clones under sheep grazing. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, p. 1268-1275, 2018.

VIEIRA, A. C. et al. Plant and animal responses of elephant grass pasture-based systems mixed with pinto peanut. **The Journal of Agricultural Science**, v. 157, n. 1, p. 63-71, 2019.

09

Pastagens nativas em diferentes ecossistemas

Mércia Virginia Ferreira dos Santos[1]
Sandra Aparecida Santos[2]
Teresa Cristina Moraes Genro[3]
Williane Patrícia da Silva Diniz[4]
Márcio Vieira da Cunha[5]

Introdução

A pecuária é a grande aptidão do Brasil, sendo as pastagens nativas, importante recurso forrageiro para os animais nos diferentes ecossistemas do país. São exemplos de pastagens nativas a Caatinga, o Pantanal e os Pampas (Figura 1).

Conforme Allen et al. (2011), pastagens nativas são áreas onde a vegetação nativa é predominantemente formada por plantas pastejadas ou que tem potencial para serem pastejadas e que é utilizada como um ecossistema natural para a produção animal e vida selvagem.

[1] Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, Pernambuco, Brasil. Bolsista do CNPq.
[2] Embrapa Pantanal.
[3] Embrapa Pecuária Sul.
[4] Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, Pernambuco, Brasil. Bolsista FACEPE.
[5] Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, Pernambuco, Brasil.

Essas áreas apresentam características peculiares quanto a composição botânica, produtividade e valor nutritivo da forragem, com grandes variações, conforme a região que se encontram.

As pastagens nativas são ecossistemas frágeis, em geral atropizados, na maioria das vezes com limitações edafoclimáticas e que abrigam animais silvestres, vegetação endêmica e uma população humana que depende de atividades agropecuárias desenvolvidas nestes locais. São áreas sujeitas a degradação, devido a eventos climáticos extremos e manejo de pastejo inadequado, notadamente o superpastejo. Conhecer as particularidades das pastagens nativas auxiliam na adoção de estratégias de manejo que ajudem na conservação destes ambientes, ao mesmo tempo que permite o desenvolvimento da produção animal de forma sustentável.

Atualmente, as pastagens não têm mais apenas o papel de viabilizar a produção de animais em pastejo. Além disso, essas têm que ser reconhecidas dentro de uma visão holística, cujo papel ultrapassa a simples produção e se integra na expectativa de serviços ecossistêmicos, destacando-se a regulagem dos ciclos biogeoquímicos, abrigo de populações de diversos invertebrados, que têm um papel importante nos ciclos de carbono e nitrogênio, sobretudo, bem como de aves e mamíferos para os quais a pastagem é fonte de alimento e de abrigo.

O presente trabalho objetivou apresentar informações sobre diversos aspectos de algumas pastagens nativas do Brasil em diferentes ecossistemas.

Fonte: blogspot.com/2017/03/biomas-brasileiros.html

Figura 1. Diferentes ecossistemas de Pastagens do Brasil.

Caatinga

A Região Nordeste do Brasil, segundo IBGE (2019), compõe uma área de 1.552.167 km^2 e caracteriza-se pela elevada diversidade de suas paisagens. Dentre essa diversidade, tem-se a Caatinga, único bioma exclusivamente brasileiro, com área de 844.453 km^2 e completamente inserido no semiárido, que se estende na totalidade do estado de Ceará e mais da metade da Bahia (54%), da Paraíba (92%), de Pernambuco (83%), do Piauí (63%) e do Rio Grande do Norte (95%), quase metade de Alagoas (48%), Sergipe (49%), e pequenas proporções de Minas Gerais (2%) e do Maranhão (1%) (IBGE/MMA, 2004).

Aspectos edafoclimáticos

A Caatinga caracteriza-se pela heterogeneidade das condições naturais do clima, solo e topografia, que favorecem o desenvolvimento de uma diversidade de espécies vegetais bem adaptadas à região (Souza et al., 2019), sendo marcadamente influenciada por fatores bióticos e abióticos.

O regime de chuvas é altamente variável, de ano para ano, dentro do ano e no espaço (Andrade et al., 2020).

A vegetação da Caatinga é constituída por espécies arbustivas e arbóreas de pequeno porte, geralmente dotados de espinhos, sendo, caducifólias, em sua maioria, perdendo suas folhas no início da estação seca. Complementam a composição botânica desse bioma, leguminosas, cactáceas, bromeliáceas, e um componente herbáceo, formado por gramíneas e dicotiledôneas, predominantemente anuais (Santos et al., 2010).

O número de espécies que compõem a Caatinga é bastante variável, conforme o estrato considerado, o ano, a metodologia empregada e ações antrópicas (Santos et al., 2010). Giulietti et al. (2006) listaram para o bioma as principais famílias, considerando número de espécies: Leguminosae (278 espécies), Convolvulaceae (103 espécies), Euphorbiaceae (73 espécies), Malpighiaceae (71 espécies), Poaceae (66 espécies) e Cactaceae (57 espécies). Barbosa et al. (2020) observaram em áreas de Caatinga em diferentes municípios da Paraíba 3.526 indivíduos distribuídos em 31 espécies, distribuídas em 14 famílias e 26 gêneros. De modo geral, observou-se que dentre as 14 famílias presentes na área, Euphorbiaceae apresentou o maior número de indivíduos (1.506) seguida por Leguminosae (1.385) e Sapindaceae (327).

Os solos formam um grande mosaico dos mais variados tipos, com características diferenciadas mesmo dentro de curtas distâncias, apresentam na

maioria das vezes boa composição química, apesar de restrições influenciadas pela presença de solos jovens, pedregosos e características relacionadas à topografia, drenagem, baixa capacidade de retenção de água e profundidade (Sampaio, 1995; Andrade et al., 2010; Andrade et al., 2020). Menezes et al. (2012) apontam que os solos são deficientes em nutrientes, principalmente N e P. As concentrações médias de P e C total do solo na camada até 20 cm são de 196 mg kg^{-1} e 9,3 g kg^{-1}, o que corresponde a estoques de C em torno de 23 Mg ha^{-1}. A fixação biológica de N_2 atmosférico pode variar de 3 a 26 kg N ha^{-1}.

Aspectos morfológicos e quantitativos

Plantas da Caatinga apresentam como estratégia adaptativa a presença de folhas pequenas e espessas como adaptação à intensa evapotranspiração (Barros e Soares, 2013), além de espinhos e/ou acúleos, que protegem as plantas principalmente contra herbívoria (Santos et al., 2010).

Vale ressaltar ainda que apenas uma proporção das plantas presentes na Caatinga possui valor forrageiro e que, parte da biomassa produzida é de baixo valor nutritivo e está pouco disponível para o animal, devido ao porte elevado de algumas plantas (Santos et al., 2022).

Segundo Pereira Filho et al. (2013), durante a estação das chuvas, a maior parte da forragem está disponível no estrato herbáceo, com baixa participação da folhagem de árvores e arbustos, no entanto, à medida que a estação seca se pronuncia, a folhagem das espécies lenhosas passa a constituir a principal fonte de forragem para os animais. Oliveira et al. (2015) observaram em Caatinga raleada na região de Serra Talhada – PE que a massa de forragem total variou de 422 ± 42 a 1.262 ± 95 kg MS ha^{-1} nos meses de janeiro/2011 a janeiro/2012.

Ydoyaga-Santana et al. (2010) observaram redução da massa de forragem e mudança da composição botânica de uma Caatinga manipulada pelo desmatamento e enriquecimento comCapim-buffel e Capim-corrente a mais de 20 anos. O componente herbáceo apresentou massa de forragem significativa (6454 kg MS ha^{-1} em fevereiro), em relação à massa total.

Algumas cactáceas nativas da Caatinga são utilizadas de forma emergencial e estratégica, a exemplo do mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC.), xique-xique (*Pilosocereus gounellei* (F.A.C. Weber) Byles & Rowle) e facheiro (*Pilosocereus pachycladus* Ritter) (Lima-Nascimento et al., 2019; Magalhães et al., 2019).

Quanto a fixação de N nas plantas da Caatinga, Freitas et al. (2010) estimaram o potencial de fixação biológica de algumas plantas arbustivo-arbóreas, com destaque

para jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir), calumbi (*M. arenosa* (Willd.) Poir) e *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke. A contribuição da fixação biológica foi de até 68% do N da planta, todavia, a quantidade de N adicionada anualmente via biomassa foliar foi baixa, variando de 2,5 a 11,2 kg N ha^{-1} ano^{-1}, devido à baixa proporção de plantas fixadoras na composição botânica.

Manipulação da vegetação

A manipulação da Caatinga para fins pastoris constitui importante prática de manejo para incrementar a produção de forragem, intensificar o pastejo, aumentar a capacidade suporte no Semiárido e contribuir para preservação da pastagem nativa (Muir et al., 2019). As técnicas de rebaixamento, raleamento, e enriquecimento são indicadas para aumentar a massa de forragem e qualidade da forragem, devendo ser avaliada economicamente em cada propriedade. As práticas de raleamento e rebaixamento utilizadas simultaneamente têm resultado em melhoria do desempenho animal.

Em Serra Talhada, Sertão de Pernambuco, Oliveira Neto et al. (2018) trabalharam com Caatinga raleada e enriquecida com as gramíneas exóticas, Capim-buffel e Capim-corrente, aplicando doses de 0, 50 e 100 kg ha^{-1} de P_2O_5. Foi observado que a adubação fosfatada com 100 kg ha^{-1} P_2O_5 elevou a massa de forragem de 2,4 para 8,0 t ha^{-1} de MS, além de ter aumentado a participação do Capim-buffel na composição botânica dos pastos em 74%, mantendo boa biodiversidade de espécies nativas. Os autores concluem que, a adubação fosfatada até 100 kg de P_2O_5 ha^{-1} ano, juntamente com a exclusão ao pastejo, pode ajudar na recuperação da Caatinga enriquecida com Capim-buffel e otimizar a sua utilização, diminuindo a formação de novas áreas de pastejo na Caatinga.

O Capim-de-raiz (*Chloris orthonoton* Doell), o Capim-milhã [*Brachiaria plantaginea* (Link) Hitchc] e a Orelha de onça [*Macroptilium martii* (Benth.) Maréchal & Baudet] são espécies nativas herbáceas que ocorrem em áreas de Caatinga e de pastagens do Agreste e Sertão de Pernambuco (Santos et al., 2022) e consumidas pelos animais.

Em condições de Caatinga, de maneira geral, a qualidade da forragem é melhor durante a estação chuvosa, caracterizada por maior teor de proteína bruta e carboidratos não estruturais, combinados com menor teor de fibras (Moura et al., 2021).

Seletividade de animais

Muitas plantas da Caatinga apresentam espinhos e/ou acúleos, fato que afeta a preferência dos animais pelo pastejo dessas plantas, além de dificultar a colheita de estacas (Santos et al., 2010). Acima de 80% da dieta total dos animais no período chuvoso é composta por gramíneas e dicotiledôneas herbáceas (Santos et al., 2010; Luna et al., 2018), enquanto as espécies perenes arbóreas e arbustivas tornam-se mais importantes na época seca, com uma contribuição de aproximadamente 50% da dieta total da dieta de pequenos ruminantes (Martinele et al., 2010; Pereira Filho et al., 2013).

De maneira geral, a proporção de participação das espécies na dieta dos animas não segue a porcentagem com que as espécies aparecem na composição botânica da pastagem (Figura 2), sendo as leguminosas um grupo altamente selecionado pelos animais (Tabela 1), principalmente aquelas com baixos valores de compostos antinutricionais.

Tabela 1. Leguminosas encontradas na dieta de animais em área de Caatinga

Nome comum	Nome científico	Local	Espécie animal	Fonte
Herbáceo				
Anil de bode	*T. cinerea* (L.) Pers.	Serra Talhada-PE	Bovinos	Ydoyaga-Santana et al. (2011)
Orelha de onça	*M. martii* (Benth.) Maréchal & Baudet			
Malícia	*Mimosa sensitiva* L.	Serra Talhada	Ovinos	Oliveira et al. (2016)
Arbustivo/Arbóreo				
Jurema preta	*Mimosa* sp.	Serra Talhada-PE	Bovinos	Ydoyaga-Santana et al. (2011)
Mororó	*B. cheillantha* (Bong.) D. Dietr.			
Catingueira	*C. pyramidalis* Tul.	São João do Cariri - PB	Caprinos	Formiga et al. (2020)
Anileira	*Indigofera suffruticosa* Mill.			

A composição da dieta dos animais em pastejo na Caatinga é influenciada pelos períodos do ano (Figura 3), espécie animal, oferta de forragem, entre outros fatores. Maciel (2016) observou aumento no teor de MS e diminuição do teor de

PB da dieta nos meses sem precipitação pluvial em Sertânia-PE, principalmente na dieta dos ovinos, maiores dependentes do estrato herbáceo. Os teores de FDN variaram de 558 e 566 g kg^{-1} no período seco a 639 e 652 g kg^{-1} no período chuvoso para caprinos e ovinos, respectivamente. A digestibilidade *in vitro* da matéria seca da dieta da espécie ovina foi significativamente superior à caprina no período seco, isto devido a menor produção das espécies do estrato arbustivo-arbóreo, causando maior consumo de serrapilheira pelos caprinos.

Figura 2. Pastejo de animais em Caatinga manipulada, Serra Talhada-PE.
Autora: Costa, C. J.P.

Figura 3. Representação de alguns fatores que influenciam a dieta dos animais em pastejo na Caatinga, conforme os períodos do ano.

Moreira et al. (2006) e Ydoyaga-Santana et al. (2011) observaram na dieta de bovinos, expressiva presença de gramíneas (50%), da Orelha de onça (20%) e do Mororó (10%), sendo diminuída a participação das gramíneas na dieta, à medida que avançou o período chuvoso, ocorrendo o inverso com o Mororó (40%), evidenciando assim, a importância dessa leguminosa na alimentação de animais em área de Caatinga.

Ressalta-se que os resultados obtidos por Moreira et al. (2006) e Ydoyaga-Santana et al. (2011) foram resultantes de pesquisas realizadas apenas no período mais favorável, e que, provavelmente, algumas espécies que participam da dieta, quando as folhas caem, no período seco, não foram observadas na dieta.

Durante o ano, há uma flutuação sazonal da produção de forragem nos diferentes estratos da Caatinga, o que leva aos animais mudarem seus padrões de seletividade (Martinele et al., 2010). À medida que a estação chuvosa avança, o componente herbáceo tende a ser o mais importante, porém, com o início da estação seca, este componente diminui sua participação na forragem disponível (Formiga et al., 2020). Santos et al. (2008) observaram na extrusa de ovinos, em função dos meses do ano, em Sertânia-PE, 39 espécies, com participação média de 20 espécies por mês de coleta.

Valor nutritivo de plantas nativas

Os teores de proteína bruta das plantas sugerem o potencial forrageiro de todas as espécies avaliadas, exceto gramíneas, é alto, entretanto a digestibilidade é baixa, além de parte do N está ligado a fibra (Tabela 2).

Os baixos coeficientes de digestibilidade observados em algumas espécies forrageiras (Tabela 2), são consequência da alta proporção da proteína bruta indisponível, por vezes associada à alta proporção da fibra indisponível e aos compostos secundários (CS) de natureza fenólica. Além destes, diversas outras classes de CS são produzidas pelas plantas da Caatinga com potencial forrageiro, tais como, alcalóides, flavonóides, triterpenos, cumarinas, saponinas e óleos essenciais.

Palma forrageira e vegetação nativa

A palma forrageira pode ser uma importante estratégia para o manejo da Caatinga . Vale ressaltar, que existe cactáceas nativas na pastagem nativa (Figura 4).

Figura 4. Cactáceas nativas.
Autora: Claristella Alves dos Santos (*in memoriam*).

No período chuvoso, parte da vegetação nativa pode ser utilizada sob pastejo pelos animais e a palma forrageira poderia atender a demanda na seca. A demanda

de matéria de uma unidade animal (UA) anual é de 4.106 kg de MS (450 kg de peso corporal x 2,5% do peso corporal x 365 dias). A oferta de forragem deveria ser de três vezes a demanda de MS (Heringer e Carvalho, 2002), ou seja, 1.2318 kg de MS/ha. Se o acúmulo de forragem na Caatinga (com rebaixamento, raleamento e enriquecimento com Capim-buffel e Capim-corrente) for de 6.000 kg de MS/ha/ano (Oliveira et al., 2015), seria possível utilizar taxa de lotação de aproximadamente 0,5 UA/ha ou 2 ha/UA (acúmulo de forragem dividido pela oferta de forragem).

Tabela 2. Valor nutritivo dos estratos herbáceos e arbustivo/arbóreo de espécies forrageiras da Caatinga

Componente (g kg^{-1} MS)	Estrato	
	Herbáceo	Arbustivo/arbóreo
Proteína bruta	67,3	139,0
Fibra em detergente neutro	701,9	446,9
Fibra em detergente ácido	443,2	318,2
Hemicelulose	286,8	132,5
Lignina	90,6	126,5
Carboidratos totais	824,2	737,7
Carboidratos não estruturais	189,6	429,8
NIDIN (%N)	44,4	55,7
NIDA (%N)	12,6	29,5
DIVMS	367,5	237,0

Fonte: dados compilados de Moura et al. (2021), Rogerio et al. (2020), Moreira et al. (2006).

Se considerarmos que 50% deste acúmulo de forragem ocorre no período chuvoso (cerca de três meses), a taxa de lotação neste período seria de 1 UA/ha, considerando demanda de 1.027 kg de MS/UA (três meses), a oferta de forragem deveria de 3081kg de MS/ha (três vezes a demanda) e acúmulo de forragem de 3.000 kg de MS/ha. No período seco, o restante de demanda animal (3.080 kg de MS/UA) seria atendido pela Palma forrageira associada com alguma fonte de fibra efetiva. A área cultivada com palma dependeria da produtividade, que por sua vez é função do sistema de cultivo, manejo e tratos culturais (Tabela 3).

Tabela 3. Área de palma necessária e de Caatinga poupada para atender a demanda de uma UA no período seco do ano, conforme a produtividade de Palma forrageira

Produtividade da palma forrageira (kg de MS/ha/ano)	Área necessária para atender a demanda de forragem na seca (ha)*	Área de Caatinga poupada (%)**
0 (apenas Caatinga)	2	0
5000	0,50	48%
10000	0,30	74%
20000	0,13	87%
40000	0,07	93%

* Considerando uma demanda de forragem de 3.080 kg de MS/UA no período seco (nove meses), 80% da demanda sendo atendida pela palma e 20% por algum volumoso como fonte de fibra e 5% de sobras.

** Considerando taxa de lotação de 1 UA/ha no período chuvoso (três meses).

A área de Caatinga poupada pela estratégia de usar palma para atender a demanda de uma UA no período seco do ano, pode chegar a quase 100% (Tabela 3). Assim, para cada hectare usado na Caatinga para pastejo na época chuvosa, outro hectare poderia ser poupado, o que representa importante medida para diminuir a pressão de pastejo na Caatinga à metade. Vale ressaltar que a produtividade de 20 t de MS/ha/ano em Palma forrageira pode ser obtida em áreas consorciadas com leguminosas arbóreas, como Leucena e Gliricídia (Saraiva et al., 2022), tornando o sistema ainda mais sustentável, em função da produção de volumoso de qualidade para ser associada a palma na mesma área de cultivo e da geração de diversos serviços ecossistêmicos, tais como fixação de N_2 e sequestro de C.

Desempenho Animal

O desempenho animal em Caatinga é bastante variável, e tem relação direta com a proporção da presença de espécies forrageiras de maior qualidade e acessível aos animais, a qual é fortemente influenciada pelo efeito da distribuição de chuvas (Santos et al., 2010; Santos et al., 2022).

Maciel (2016) observou maiores médias de peso corporal no mês de junho para caprinos (42,44 kg) e ovinos (39,80 kg) sob pastejo na Caatinga, na região de Sertânia-PE, mês que antecedeu a maior precipitação acumulada (55 mm). Araújo Filho et al. (2002) indicam que as secas periódicas reduzem o ganho de peso

principalmente dos bovinos, devido ao seu hábito alimentar e menor capacidade de seleção, enquanto os ovinos e caprinos apresentam ganho de peso diário ao longo do período.

O ganho médio diário de novilhas em Caatinga manipulada no período chuvoso, segundo Ydoyaga-Santana et al. (2010), foi de 412 g, com aproximadamente 34,6 % de leguminosas compondo a dieta. Os autores afirmam que o desempenho observado nos animais a pasto deveu-se, provavelmente, a lotação de 6 ha UA^{-1}, permitindo aos animais maior capacidade de seleção.

A produção de leite de vacas alimentadas exclusivamente com a vegetação da Caatinga no período chuvoso do ano com uma lotação de 5 $ha.cabeça^{-1}$, segundo Moreira et al. (2007) foi de 5,3 $kg.vaca.dia^{-1}$, com 39,5% de leguminosas compondo a dieta dos animais.

A produção animal, em áreas de Caatinga, pode ser maximizada através das práticas de conservação de forragens, feno ou silagem, do excedente de produção de espécies forrageiras da Caatinga no período chuvoso (Santos et al., 2022).

De maneira geral, em condições de Caatinga nativa, o desempenho animal é baixo (Lira et al., 1990), notadamente no período seco do ano. Estudos que mensurem detalhadamente as variações qualitativas e quantitativas das espécies que compõem o pasto, considerando os efeitos dos fatores físicos e temporais, são primordiais para o manejo de suplementação alimentar, com vistas à sustentabilidade de produção animal em áreas de pastagem nativa no Semiárido do Brasil (Santos et al., 2010).

A presença de compostos secundários nos vegetais presentes na dieta de ruminantes em pastejo na Caatinga promove modificações nas proporções teciduais da carne produzida, resultando assim em carnes com rendimento reduzido de gordura sem afetar o desempenho muscular, bem como modificação do perfil de ácidos graxos (Coelho et al., 2020; Alves Júnior et al., 2017).

Vale ressaltar que a integração de áreas de cultivo de palma forrageira bem manejadas pode resultar em altas produções por unidade de área e aliviar a pressão sobre a Caatinga, promovendo maior sustentabilidade dos sistemas de produção animal no semiárido do Nordeste do Brasil.

O manejo adequado da Caatinga e a utilização de técnicas que intensifiquem a massa de forragem e o valor nutritivo do pasto, são essenciais para que se aumente a produtividade animal e vegetal nessa vegetação nativa, de forma sustentável.

Pampas

O bioma Pampa representa 2,07% (176.496 km^2) do território nacional (IBGE, 2004), entretanto, esse bioma é uma pequena parte de um bioma bem mais amplo que se estende por 500.000 km^2, desde o Uruguai, Nordeste da Argentina, sul do Brasil, e parte do Paraguai (Pallarés et al., 2005). Este bioma corresponde aproximadamente 62,2% da área total do Rio Grande do Sul (Boldrini et al, 2009).

A região do Rio Grande do Sul, onde se localiza o bioma Pampa, é caracterizada por verões quentes e invernos frios, devido a zona de transição onde este se localizada, do clima tropical para o clima temperado. Segundo a classificação de Köppen, o clima deste bioma é do tipo Cfa, com temperatura média anual variando entre 16,8°C a 17,7°C, precipitação média anual variando entre 1414 mm a 1665 mm, com possíveis ocorrências de geadas de abril a novembro e estiagem de dezembro a fevereiro (Moreno, 1961). Essa condição climática peculiar, faz com que o campo seja composto por uma associação de espécies estivais de metabolismo C_4, e apresenta também espécies de crescimento hibernal com rota metabólica C_3 (Figura 5).

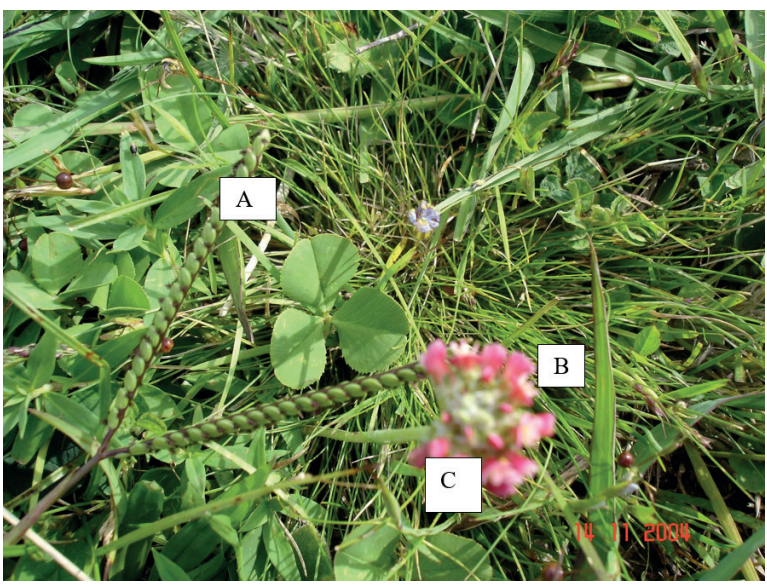

Figura 5. Diversidade florística no bioma Pampa. A. Espécies C_4 (*Paspalum notatum*); B. Espécie C_3 (*Piptochaetium montevidense*) e C. Leguminosas (*Trifolium riograndense*).

Justamente por apresentar esta característica, o campo nativo tem grande influência do clima, tipo de solo, altitude, regime hídrico etc., e, por isso, o conjunto de espécies que formam a vegetação pode variar de acordo com o local, formando sub-nichos de vegetação dentro do bioma Pampa. A pastagem natural neste bioma se caracteriza pela diversidade de espécies, sendo estas predominantemente de ciclo estival, e é de extrema importância para a pecuária do Rio Grande do Sul. A fisionomia predominante desses campos é herbácea, em relevo de planície com várias espécies de Poaceae, Asteraceae, Cyperaceae, Fabaceae, Rubiaceae, Apiaceae e Verbenaceae (Brasil, 2000). Boldrini (2002) menciona que, no bioma, existem cerca de 450 espécies de Poaceae (gramíneas) e 150 de Fabaceae (leguminosas). Assim, a associação das mesmas promove uma dieta diversificada para o animal, conferindo características particulares ao produto aí obtido (Nabinger, 2006). Entre as *Poaceae*, os gêneros mais encontrados são o *Paspalum*, *Axonopus*, *Andropogon*, *Panicum*, *Setaria*, *Digitaria*, *Schizachyrium*, *Bromus* e *Stipa*. Dentre as *Fabaceae*, se destacam a *Adesmia*, *Vicia*, *Lathyrus*, *Trifolium*, *Medicago*, *Desmodium*, *Rhynchosia*, *Aeschynomene*, *Arachis* e *Vigna*.

Intensidades de pastejo moderadas otimizam a produção animal e vegetal, enquanto são capazes de promoverem o sequestro de carbono (Schirman et al., 2017), a taxa de infiltração de água no solo (Bertol et al., 1998), dentre outras variáveis indicadoras de qualidade ambiental (Jaurena et al., 2021). Portanto, ao se otimizar variáveis produtivas, particularmente por meio da adequação da carga animal a produção de forragem, não se estaria trilhando caminho inverso ao da conservação. Neste sentido, Carvalho et al. (2011) argumentam que a conservação do Bioma Pampa se dá pelo seu uso com pastejo de animais domésticos, e que a valorização de um produto particular, produzido em pastagens naturais, é fundamental para remunerar aqueles produtores que sigam boas práticas de manejo. Essas afirmações corroboram com o estudo de Piñeiro et al. (2010), que avaliaram o pastoreio e a modificação estrutural que este acarreta e como essas alterações se relacionam com as reservas de carbono orgânico no solo. Esses autores concluíram que a quantidade de carbono armazenado no solo pode aumentar linearmente, com o aumento da fitomassa e com manejos de pastoreio que permitam a retenção de nitrogênio, ou seja, usar uma oferta de forragem ótima para que haja produção animal e vegetal.

Além dessa possibilidade de melhoria na produção animal apenas com o manejo correto da pastagem natural, é possível aumentar ainda mais a eficiência deste sistema produtivo através da intensificação baseada na utilização de insumos na pastagem. Com esta intensificação, há alterações tanto na produção e estrutura da forragem, como pela dinâmica vegetacional da pastagem em escala espaço-

temporal, assim como, influencia o desempenho e o comportamento dos herbívoros a pasto. Desta forma, o melhoramento da pastagem através da correção e adubação do solo e introdução de leguminosas, aumenta a produção de forragem, reduzindo o problema de escassez de forragem no outono e inverno.

Rosa (2010) estudou o desenvolvimento e o desempenho de novilhas Hereford, encontrou que com intensificação no sistema de produção pelo uso de fertilizantes e sobressemeadura de espécies hibernais em campo nativo. Foi verificou que houve incremento no ganho de peso e peso corporal ao início da reprodução e maior taxa de prenhez, em relação às manejadas exclusivamente em pastagens naturais. Ferreira et al., (2011) mostraram que, a utilização de insumos em pastagem natural permite alterações qualitativas e quantitativas na forragem, possibilitando assim, o abate precoce de novilhos com satisfatório grau de acabamento. Estas implicações são realmente visíveis, de forma que, ocupando exatamente a mesma área, a produção de bovinos de corte pode facilmente dobrar ou mesmo triplicar sem perder a qualidade do produto cárneo, com implantação de métodos de manejo simplificados e uso correto de tecnologias (Figura 6).

Figura 6. Vacas da raça Hereford em pastagem nativa melhorada com sobressemeadura de Azevém e fertilização nitrogenada (100 kg N/ha/ano, 50% no outono e 50% na primavera).

Com o advento das questões relacionadas com o aquecimento global e emissão de gases de efeito estufa, a agricultura e a pecuária tem se tornado vilãs, uma

vez que a elas é atribuída uma considerável parcela destas emissões. Por outro lado, os consumidores estão cada vez mais exigentes com relação a qualidade e a origem dos produtos, priorizando a compra de alimentos que tenham segurança alimentar e que não poluam o meio ambiente (Jaurena et al., 2021). Assim, não se pode mais pensar apenas em produzir, mas há que se produzir e qualificar o ambiente de produção. Genro et al. (2020) testaram três graus de intensificação no uso de campo natural, com o objetivo de avaliar as emissões de metano (CH_4) e o desempenho de novilhos de corte durante a recria e a terminação, mantidos em pastagens naturais com diferentes níveis de intensificação. Os níveis de intensificação testados foram: campo nativo com ajuste de carga para a oferta de forragem de 12 kg de MS para cada 100 kg de peso vivo, campo nativo com ajuste de carga e fertilização nitrogenada (100kg/ha/ano) e campo nativo com ajuste de carga, fertilização nitrogenada (100kg/ha/ano) mais a introdução por sobressemeadura de Azevém (*L. multiflorum* Lam.) e Trevo vermelho (*T. pratense* L.). Foi observado o desenvolvimento dos novilhos durante todo período de recria e terminação (Figura 7).

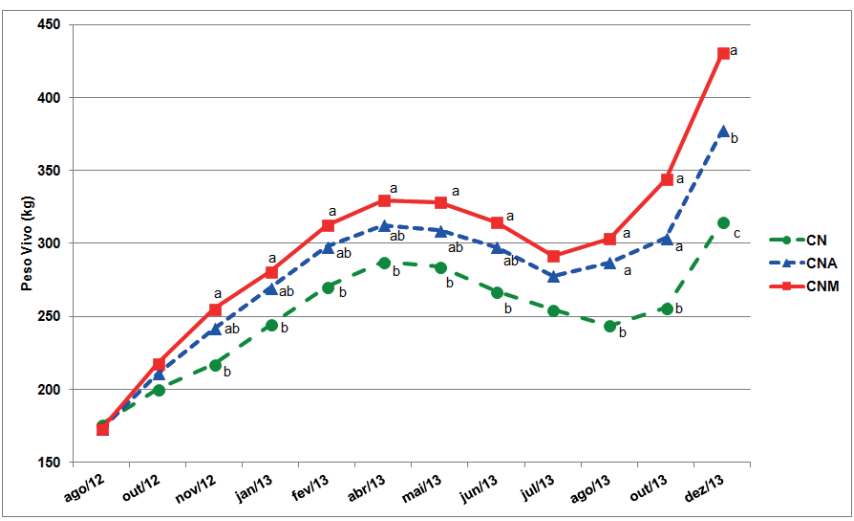

Figura 7. Peso vivo (kg) de novilhos Hereford mantidos em campo nativo (PN), campo nativo fertilizado (PNF) e campo nativo com fertilização e introdução de espécies hibernais exóticas (PNFS).

Fonte: Genro et al. (2020).

Os animais mantidos em campo nativo fertilizado (PNF) obtiveram um peso intermediário entre o PNFS e o PN na maioria das avaliações. A partir de agosto

de 2013, os animais do PNF começaram a se diferenciar dos animais do PN, o que resultou num peso vivo final maior que o dos animais do PN e inferior aos animais do PNFS. Em agosto 2013, os animais mantidos em PN continuaram a perder peso, enquanto os animais mantidos no PNF e PNFS ganharam peso, provavelmente pela maior disponibilidade de nutrientes para as plantas forrageiras, via fertilização, o que potencializou o seu crescimento e também coincide com a época de crescimento das espécies exóticas implantadas no tratamento PNFS (Azevém e Trevo vermelho), disponibilizando maior oferta de material vivo e de melhor valor nutritivo, podendo ter ocorrido ganho compensatório no PNF e PNFS. Em outubro e dezembro 2013, os animais mantidos no tratamento PNFS alcançaram ganhos maiores que 1,00 kg por dia, sendo superior aos outros tratamentos, o que resultou em animais mais pesados. Dos três níveis de intensificação estudados, apenas o campo nativo fertilizado e com introdução de Azevém e Trevo vermelho apresentou animais em condições de abate com dois anos.

Com relação às emissões de metano, Genro et al., (2020) avaliaram dois ciclos de recria e terminação de novilhos de corte (Tabela 4). Os animais mantidos em pastagem nativa com ajuste de carga apresentaram maior emissão individual, diária e anual, o que representa uma maior intensidade de emissões do que os animais mantidos nos outros dois níveis de intensificação no uso da pastagem nativa.

Tabela 4. Emissões médias de metano por animal por dia (CH_4, g/dia) e por ano (kg/ano), ganho médio diário (GMD, kg/d) de novilhos Hereford em pastagem natural (PN), pastagem natural fertilizada (PNF) e pastagem natural fertilizada e sobressemeada (PNFS). Média de dois anos de avaliação

Tratamentos	CH_4 (g/dia)	CH_4 (kg/animal/ano)	GMD (kg/dia)
PN	147,25 a	54,0 a	0,38 b
PNF	130,96 b	47,8 b	0,62 a
PNFS	131,56 b	48,0 b	0,72 a

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0.05$).

Fonte: Genro et al (2020).

Os novilhos terminados em pastagem natural fertilizada e pastagem natural fertilizada e sobressemeada com espécies exóticas apresentaram um ganho de peso médio diário 163% e 189% maior do que os novilhos mantidos em pastagem natural.

O manejo adequado dos pastos e a utilização de ferramentas que intensifiquem a produção de forragem de qualidade são imprescindíveis para que se aumente a produtividade da pecuária de forma sustentável no bioma Pampa.

Pantanal

O Pantanal é uma grande bacia sedimentar com um complexo sistema de drenagem, periodicamente inundável, caracterizada pela presença de formações vegetais de florestas, savanas e campos dispostos em diferentes mosaicos (Figura 8).

Figura 8. Mosaico de paisagens e pastagens típico da sub-região da Nhecolândia, Pantanal, MS.

As extensas áreas de campos naturais são geralmente dominadas por gramíneas que favorecem a atividade pastoril, razão pela qual a região tem sua economia voltada principalmente para a exploração extensiva da pecuária de corte há mais de dois séculos (Santos et al., 2011). Esta heterogeneidade de comunidades vegetais de florestas, cerrado e campos, dispostos ao longo do gradiente de inundação é denominada de savana hipersazonal (Sarmiento, 1983). Essas comunidades de plantas variam no espaço e no tempo em função de condições ambientais e antrópicas (Santos et al., 2021a). O Pantanal possui 2250 espécies de fanerógamas, cujas principais famílias são as leguminosas (240 espécies), gramíneas (212 espécies) e ciperáceas (92 espécies) (Pott e Pott, 2021). As gramíneas que consistem no principal componente da dieta de bovinos (Santos et al., 2002) estão presentes principalmente nos ecossistemas abertos como campo limpo, campo cerrado, vazantes, bordas de lagoas etc. A aptidão natural das fazendas pantaneiras para a atividade de pecuária de corte depende da proporção desses ecossistemas abertos, do grau de inundação e da disponibilidade de água (Santos et al., 2014).

A pecuária de corte é caracterizada como extensiva com rebanho de aproximadamente 3.800.000 reses, com destaque especial para a fase de cria e recria de novilhas de reposição (Oliveira et al., 2016; Abreu et al., 2021). O manejo dos animais envolve "trabalhos de gado", geralmente realizados duas vezes ao ano, onde os animais são vacinados, ferrados, castrados e descartados. Já num sistema com algum nível de tecnificação são adotadas tecnologias disponíveis para a região. A base nutricional dos bovinos são as pastagens nativas e exóticas, especialmente *Urochloa humidicola*, espécie adaptada à solos pobres e inundáveis da região (Crispim e Branco, 2002; Santos et al, 2022). A taxa de lotação das pastagens nativas é variável em função das espécies forrageiras disponíveis e condições climáticas, mas de maneira geral é baixa. No caso das pastagens exóticas fica em torno de 1 UA por hectare.

Apesar da diversidade de recursos forrageiros existentes no Pantanal, as principais forrageiras são aquelas dominantes e preferidas pelo gado, localizadas principalmente nas áreas inundáveis. As espécies preferidas de melhor qualidade são as espécies nativas de ciclo C3 como o capim-de-capivara (*Hymenachne amplexicaulis*), o grameiro (*Leersia hexandra*), os capins-arroz (*Luziola subintegra*, *Oryza* spp.) e espécies de ciclo C_4 como o mimoso-de-talo (*Hemarthria altissima*) que são encontradas nas áreas mais úmidas. Porém, essas áreas são influenciadas pelo pulso de inundação (Junk et al., 1989) que tem influência no balanço de nutrientes e na disponibilidade de forrageiras que dependendo do nível de inundação pode não haver produção. Dependendo da época e das condições climáticas, prevalecem algumas forrageiras nativas mais adaptadas, o que confere resiliência e estabilidade das pastagens ao longo do tempo. Na Tabela 5, constam algumas das principais forrageiras nativas em função do tipo de solo, comunidade vegetal e grau de inundação.

Para estabelecer o manejo sustentável das pastagens nativas, recomenda-se que o produtor faça o mapeamento dos tipos de paisagens/pastagens e suas respectivas espécies forrageiras chaves e dominantes (Santos et al., 2020). O conhecimento dos diferentes picos de produção permite o planejamento do sistema de pastejo que depende da distribuição espacial das forrageiras principais. Quando essas são dispostas em mosaico (manchas) fica difícil estabelecer um sistema rotacionado sistemático e daí pode ser estabelecido divisões e uso de vedação flexível em função das respostas das forrageiras principais. Uma possibilidade é dividir as áreas conforme tipos de pastagens dominantes, com espécies de pico de produção no fim do inverno e primavera, e áreas com pico de produção no verão (Santos et al., 2021).

Tabela 5. Principais tipos de pastagens nativas do Pantanal, em função da textura do solo e influência de inundação

Tipos de pastagem (comunidade)	Influência de inundação[1]	Espécies forrageiras dominantes
Solos arenosos		
Campo limpo	Sazonal	Capim-mimoso (*Axonopus purpusii*), capim-mimosinho (*Reimarochloa brasiliensis*), etc.
Canjiqueiral	Baixa	Capim mimoso, grama-do-carandazal (*Steinchisma laxum*)
Caronal	ausente-baixa	Capim-carona (*Elyonurus muticus*), *Trachypogon* sp., grama-do-cerrado (*Mesosetum chaseae*)
Capim-vermelho	Baixa	Capim-vermelho (*Andropogon hypogynus*), rabo-de-carneiro (*Andropogon selloanus*)
Fura-bucho	Baixa	Fura-bucho (*Paspalum lineare*)
Lixeiro	Baixa	Canjiqueira, *Sorghastrum setosum*, *Paspalum* spp.
Vazante	sazonal-alta	Capim-mimosinho, grama-do-carandazal, taquarinha
Várzea	Alta	Mimoso-peludo, *Panicum* spp.
Brejo/lagoa/baixadas em geral	Alta	Capim-de-capivara (*Hymenachene amplexicaulis*), pastinho d'água, ciperáceas
Beira salina	Alta	Grama-de-salina (*Paspalum vaginatum*), mimoso-de-talo (*Paspalum plicatulum*)
Capões	ausente-baixa	Capim-mimoso, grama-do-cerrado
Campo-cerrado	ausente-baixa	Grama-do-cerrado, rabo-de-carneiro
Cerradão distrófico	Ausente	Capim-carona, *Trachpogon* sp.
Campo sujo	ausente-baixa	Capim-carona, *Mesosetum chaseae*, *Digitaria* sp.
Cerradão mesotrófico	Ausente	Capim-de-capoeira, taquarinha
Floresta	Ausente	Capim-de-capoeira, taquarinha
Solos argilosos		
Cambarazal	Alta	Capim-duro, capim-bananal
Campos do Jofre	Alta	*Paspalum* spp., mimoso-de-talo
Paratudal	Baixa- alta	Capim-vermelho, grameiro (*Leersia hexandra*)
Carandazal	ausente-alta	Capim-arroz, grameiro
Vazante	Alta	Capim-arroz, capim-de-capivara, pastinho d'água
Brejo/lagoa	Alta	Capim-camalote, capim-de-capivara, Echinocloa sp.
Várzea	Alta	*Paspalum* spp.
Floresta galeria	Sazonal -alta	Braquiária-do-brejo
Floresta seca	Ausente	*Leptochloa* sp.

[1] Influência de inundação- sazonal ou intermediário: ocorrência de inundação durante determinadas épocas do ano, ocorrendo nas áreas intermediária entre baixadas e áreas mais altas; alta: ocorrência de inundação.

Fonte: Santos et al. (2011); Pott (1994).

No Pantanal, as diversas fitofisionomias/tipos de pastagens (unidades de paisagem), compõem conjunto de habitats, que são espacialmente e temporalmente dinâmicos e podem diminuir ou aumentar em abundância, dependendo das flutuações ambientais, especialmente do nível de inundação associadas com as ações de manejo. Esta variabilidade é uma das principais restrições/desafios para manejo sustentável, especialmente das pastagens, dificultando a adoção de um plano de manejo único para a região. Uma das soluções seria o desenvolvimento de planos de manejo adaptativo dos recursos forrageiros (estimativa da real capacidade de suporte), frente as diversas condições/restrições que o proprietário pode enfrentar, tais como seca/cheia extrema, entre outras.

Num sistema dinâmico como o Pantanal, o manejo adaptativo seria o mais adequado pois consiste num processo de tomada de decisão interativo que envolve objetivos de manejo associados com as boas práticas, monitoramento para ajustes voltados para alcançar os resultados buscados. Portanto, o manejo holístico e adaptativo das pastagens requer o conhecimento da dinâmica de produção das principais espécies forrageiras e suas respostas aos diferentes distúrbios (Santos et al., 2020). Esses conhecimentos permitem a construção de modelos de estado e transição para os diferentes ecossistemas de pastagens e sítios ecológicos que contribuem para as tomadas de decisão em relação a adoção de sistemas de manejo apropriados assim como permite resiliência à eventos extremos (seca e cheia) e manutenção do carbono no solo e outros serviços ecossistêmicos (Santos et al., 2021a).

O manejo sustentável de uma pastagem, deve envolver a aplicação de planos de manejo adequado em função do tamanho e infra-estrutura da propriedade. A diminuição do tamanho das pastagens (construção de cercas e aguadas) só é viável quando as pastagens são altamente produtivas. Portanto, a definição de estratégias de manejo adequadas (ex.: métodos de pastejo, taxa de lotação, queima controlada, controle de invasoras) deve ser feita em função das características de cada invernada (unidade de manejo), de modo que a produtividade obtida seja economicamente viável sem influenciar a integridade ecológica, ou seja, a sobrevivência das pastagens a longo prazo. Estas práticas visam proteger as áreas de pastejo de degradação biológica, fragmentação/desmatamento dos habitats, introdução inadequada de espécies exóticas e de espécies invasoras.

O uso multifuncional das paisagens (sistemas integrados), também permite a manutenção das espécies arbóreas, que fornecem sombra e alimento complementar para os animais domésticos; alimento e abrigo para a fauna silvestre e promove a conservação de solos e reciclagem de nutrientes. O sistema extensivo de criação de gado do Pantanal, pode ser considerado um sistema silvipastoril natural extensivo pois

integra espécies plantas (arbustivas e herbáceas) e animais (domésticos e silvestres). Uma prática muito utilizada na substituição de pastagens em áreas de campo cerrado é manter as espécies arbustivas e arbóreas nativas, mantendo o padrão natural das paisagens (Santos et al., 2009). Na substituição de pastagens, critérios técnicos e sustentáveis foram estabelecidos por Santos et al. (2022). Pott e Pott (2003) sugeriram 116 espécies lenhosas nativas com potencial de uso (fruta, madeira, forrageira, medicinal, artesanal, apícola, ciliar e outras) em sistemas agroflorestais em Mato Grosso do Sul. As espécies sugeridas produzem muitas sementes e são de fácil cultivo. Dentre as espécies destacadas pelos autores pelas múltiplas utilidades, estão bocaiúva, buriti, chico-magro, cumbaru, embaúba, ingá, jatobás, pequi, periquiteira e tarumã, todas encontradas no Pantanal.

Considerações Finais

O monitoramento da massa de forragem e composição botânica nas pastagens nativas deve ser constante, visando realizar o manejo da vegetação e dos animais de forma sustentável.

No manejo da vegetação, espécies índices devem ser identificadas na dieta selecionada pelos animais, devendo-se preservá-las no pasto, sendo ainda potenciais candidatas a um programa de domesticação. Para o manejo dos animais, o ajuste da lotação animal é fundamental para evitar o superpastejo e a degradação das pastagens.

Intensificar a produção de forragem nas pastagens nativas é de relevante importância para diminuir o impacto da pecuária nestes ecossistemas, uma vez que maiores áreas serão preservadas. São exemplos de estratégias para intensificar a produção de forragem o cultivo de plantas adaptadas de alta produtividade, métodos de pastejo que permitam alta densidade de lotação, manipulação da vegetação nativa e sistemas integrados.

A produtividade nas pastagens nativas é menor, comparada as pastagens cultivadas, no entanto, diversos serviços ecossistêmicos podem ser promovidos nas áreas nativas. Identificar estes serviços ecossistêmicos é importante para desenvolver políticas públicas que valorizem os produtos gerados nas pastagens nativas brasileiras, para maior sustentabilidade desses ecossistemas.

O manejo adequado dos pastos nativos nos diferentes ecossistemas e a utilização de técnicas que intensifiquem a produção de forragem de qualidade, são essenciais para que se aumente a produtividade da pecuária de forma sustentável nos diferentes biomas.

Referências

ABREU, U.G.P.; OLIVEIRA, L.O.F.; BALDUINO, S. Pecuária com certificação orgânica e sustentável no Pantanal de Mato Grosso do Sul. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2021. 10 p. (Embrapa Pantanal**. Comunicado Técnico**, 118).

ALLEN, V.G.; BATELLO, C., BERRETTA, E.J. et al. An international terminology for grazing lands and grazing animals. **Grass and Forage Science**, v.66, n.1, p.2-28, 2011.

ALVES JÚNIOR, R.T.; SOUZA, E.J.O.; MELO, A.A.S.; et al. Mesquite extract as phytogenic additive to improve the nutrition of sheep. **Journal of Agricultural Science**, v.9, p.164-174, 2017.

ANDRADE, A. P. de; COSTA, R. G.; SANTOS, E. M. et al. Produção animal no semi-árido: o desafio de disponibilizar forragem, em quantidade e com qualidade, na estação seca. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.4, p.01-14, 2010.

ANDRADE, A.P.; SILVA, D.S.; BRUNO, R.L.A. et al. Temporal rainfall variability as inductor of the phenology of Brazilian semiarid species. **Australian Journal of Crop Science**, v.14, p.299-307, 2020.

ARAÚJO FILHO, J.A.; GADELHA, A.G.; CRISPIM, S.M.A. et al. Pastoreio misto em caatinga manipulada no Sertão Cearense. **Revista Cientifica de Produção Animal**, v.4, p. 9-21, 2002.

BARBOSA, A.S.; ANDRADE, A.P.; FÉLIX, L.P. et al. Composição, similaridade e estrutura do componente arbustivo-arbóreo de áreas de Caatinga. **Nativa**, v.8, p.314-322, 2020.

BARROS, I.O.; SOARES, A.A. Adaptações anatômicas em folhas de marmeleiro e velame da caatinga brasileira. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, p.192-198, 2013.

BERTOL, I.; GOMES, K. E.; DENARDIN, R. B. N. et al. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.5, p.779-786, 1998.

BOLDRINI, I.I. **Campos sulinos: caracterização e biodiversidade.** In: ARAÚJO, E. A.; SAMPAIO, E.V.S.B, et al. (ed.). Biodiversidade, conservação e uso sustentável da flora do Brasil. Recife: UFPe/Soc. Bot. do Brasil. p.95-97, 2002.

BOLDRINI, I.L. **A flora dos campos do Rio Grande do Sul.** In: PILLAR, V. P.; MULLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. et al. (Eds.) Campos Sulinos: Conservação e uso sustentável da biodiversidade. Brasília: MMA, 2009, p. 63-77.

CARVALHO, P.C.F.; NABINGER, C.; LEMAIRE, G.et al. Challenges and opportunities for livestock production in natural pastures: the case of Brazilian Pampa Biome. In: **INTERNATIONAL RANGELAND CONGRESS**, 9., 2011, Rosario, Argentina. Diverse Rangelands for a Sustainable

Society: [plenary...]. Rosario: Instituto Nacional de TePNología Agropecuaria; Asociación Argentina para el Manejo de Pastizales Naturales, 2011. p. IX-XV.

COELHO, E.R.; CUNHA, M.V.; SANTOS, M.V.F. et al. Phytogenic additive to improve nutrient digestibility, carcass traits and meat quality in sheep finished on rangeland. **Livestock Science**, v.241, p.104268, 2020.

CRISPIM, S.M.A.; BRANCO, O.D. Aspectos gerais das braquiárias e suas características na sub-região da Nhecolândia, Pantanal, MS. Corumbá: Embrapa Pantanal (Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 33), 2002. 25p.

DUBEUX JR., J.C.B.; SOLLENBERGER, L.E.; MUIR, J.P. et al. Sustainable intensification of livestock production on pastures. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v.25, v.97-111, 2017.

ELEJALDE, D.A.G. ; FERREIRA, E.T.; NABINGER, C. et al. Ingestive behavior of Angus yearling steers in natural grassland subjected to fertilization and over sown of temperate species. **Australian journal of crop science**, v. 16, p. 18-25, 2022.

FERREIRA, E.T.; NABINGER, C.; ELEJALDE, D.A.G. et al. Terminação de novilhos de corte Angus e mestiços em pastagem natural na região da Campanha do RS. **Revista Brasileira de Zootecnia.** 40(9): 2048-2057, 2011. doi: 10.1590/S1516-35982011000900029

FORMIGA, L.D.A.S.; PAULO, P.F.M.; CASSUCE, M.R. et al. Ingestive behavior and feeding preference of goats reared in degraded caatinga. **Ciência Animal Brasileira**, v.21, e-52435, 2020.

FRANÇA, A.A.; SILVA, D.S.; FECHINE, J.T. et al. Potential and restrictions of *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz as native forage in the Brazilian semi-arid region. **Acta Scientiarum.Animal Science**, v.42, e47460, 2020.

FREITAS, A.D.S.; SAMPAIO, E.V.S.B.; SANTOS, C.E.R.S. et al. Biological nitrogen fixation in tree legumes of the Brazilian semi-arid caatinga. **Journal of Arid Environments**, v.74, p.344-349, 2010.

GENRO, T. C. M.; VOLK, L. B. da S.; BERNDT, A. et al. Emissões de metano entérico por bovinos de corte em pastagem natural com distintos níveis de intensificação. In: SOTTA, E. D.; SAMPAIO, F. G.; COSTA, M. de S. N. (org.). **Coletânea de fatores de emissão e remoção de gases de efeito estufa da pecuária brasileira. Brasília**, DF: MAPA: SENAR, 2020. p. 84-85.

GIULIETTI, A. M.; CONCEIÇÃO, A.; QUEIROZ, L. P. Diversidade e caracterização das fanerógamas do semi-árido brasileiro. Recife: Associação Plantas do Nordeste, 2006. 488 p.

HERINGER, I.; CARVALHO, P. C. F. Ajuste da carga animal em experimentos de pastejo: uma nova proposta. **Ciência Rural**, v. 32, p. 675-679, 2002.

IBGE, 2017. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo agropecuário 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 04 de dezembro de 2020.

IBGE, 2019. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados> Acesso em 10 de dezembro de 2020.

IBGE, Mapa de Biomas do Brasil, 2004. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/mapas/mapas_doc1.shtm

IBGE/MMA, 2004. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/ Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html> Acesso em 14 de dezembro de 2020.

JAURENA, M.; DURANTE, M.; DEVINCENZI, T. et al. QUADROS, F.L.F.; PIZZIO, R.; NABINGER, C.; CARVALHO, P.C.F.; LATTANZI, F.A. Native Grasslands at the Core: A New Paradigm of Intensification for the Campos of Southern South America to Increase Economic and Environmental Sustainability. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 5, p. 1/547834-15, 2021.

JUNK, W.J. Flood tolerance and tree distribution in central Amazonian floodplains. In: HOLM-NIELSEN, L. B.; NIELSEN, I. C.; BALSLEV, H. **Tropical forest: botanical dynamics, speciation and diversity**. New York: Academic Press, 1989. p. 47-64.

LIMA-NASCIMENTO, A.M.; BENTO-SILVA, J.S. et al. Ethnobotany of native cacti in the northeast region of Brazil: can traditional use infl uence availability? **Acta Botanica Brasilica**, v. 33, p. 350-359, 2019.

LIRA, M.A.; FARIAS, I.; SANTOS, M.V.F. Alimentação de bovinos no Nordeste - Experimentação com forrageiras e pastagens. In: SIMPÓSIO NORDESTINO DE ALIMENTACAO DE RUMINANTES, 3., 1990, João Pessoa. **Anais...**João Pessoa: SNAR, 1990. p. 108-133.

LUNA, R.G.; ANDRADE, A.P.; SOUTO, J.S. et al. Análise florística e fitossociológica de quatro áreas de caatinga sob diferentes densidades de caprinos no Cariri Paraibano, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v.5, p.191-229, 2018.

MACIEL, M.V. **Monitoramento nutricional da dieta de pequenos ruminantes utilizando espectroscopia da reflectância do infravermelho próximo (NIRS) no Sertão de Pernambuco**. 135p. (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife: UFRPE, 2016.

MAGALHÃES, A.L.R.; TEODORO, A.L.; GOIS, G.C. et al. Chemical and mineral composition, kinetics of degradation, and *in vitro* gas production of native cactus. **Journal of Agricultural Studies**, v.7, p.119-137, 2019.

MARTINELE, I.; SANTOS, G.R.A.; MATOS, D.S. et al. Diet botanical composition and rumen protozoa of sheep in brazilian semi-arid area. **Archivos de Zootecnia**, v. 59, p. 169-175, 2010.

MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B.; GIONGO, V. et al. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. **Brazilian Journal of Biology**, v.72, p.643-653, 2012.

MOREIRA, J.L.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F. et al. Consumo e desempenho de vacas guzerá e girolando na caatinga do sertão pernambucano. **Revista Caatinga**, v.20, p.13-21, 2007.

MOREIRA, J.N.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F. et al. Caracterização da vegetação de Caatinga e da dieta de novilhos no Sertão de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1643-1651, 2006.

Moreno, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura. RS. 1961. 41p.

MOURA, J.G.; CUNHA, M.V.; SOUZA, E.J.O. et al. The vegetal stratum defined the forage bromatology more than the season in seasonal dry tropical forest rangelands. **Agroforest Systems**, v.95, p.1177-1189, 2021.

MUIR, J.P.; SANTOS, M.V.F.; CUNHA, M.V. et al. Value of endemic legumes for livestock production on Caatinga rangelands. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.14, e5648, 2019.

NABINGER, C.; FERREIRA, E. T.; FREITAS, A. K. et al. Produção animal com base no campo nativo: aplicações de resultados de pesquisa. In: PILLAR, V.D.P. et al. Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade. **Brasília: Ministério do Meio Ambiente**, 2009. 403 p.

OLIVEIRA NETO, P. M.; CUNHA, M.V.; SOUZA, E.J. et al. Dynamics of herbaceous vegetation in Caatinga manipulated with grazing exclusion under phosphate fertilization. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 4, p. 1027-1039, 2018.

OLIVEIRA, B.S.; PEREIRA, L.G.R.; AZEVÊDO, J.A.G. et al. *In vitro* screening of plants from the Brazilian Caatinga biome for methanogenic potential in ruminant nutrition. **Environmental Science and Pollution Research**, v.25, p.35538-35547, 2018.

OLIVEIRA, I.S.; SOUZA, V.C.; QUIRINO, Z.G.M. et al. Spatial distribution and population structure of *Pilosocereus pachycladus* F. Ritter subsp. *pernambucoensis* (F. Ritter) Zappi and *Cereus jamacaru* DC. subsp. *Jamacaru*. **Research, Society and Development**, v.9, e2469108466, 2020a.

OLIVEIRA, L. O. F.; ABREU, U. G. P.; DIAS, F. R. T. et al. Estimativa da população de bovinos no Pantanal por meio de modelos temáticos e índices tradicionais. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2016. 11 p. (Embrapa Pantanal. **Comunicado Técnico**, 99).

OLIVEIRA, L.P.; MAGALHÃES, A.L.R.; TEODORO, A.L. et al. Chemical characteristics, degradation kinetics and gas production of arboreal species for ruminants. **Revista Ciência Agronômica**, v.51, e20196707, 2020b.

OLIVEIRA, O.F.; SANTOS, M.V.F.; CUNHA, M.V. et al. Botanical composition of Caatinga rangeland and diets selected by grazing sheep. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v.4, p.71-81, 2016.

OLIVEIRA, O.F.; SANTOS, M.V.F.; CUNHA, M.V. et al. Características quantitativas e qualitativas de caatinga raleada sob pastejo de ovinos, Serra Talhada. **Revista Caatinga**, v.28, p.223-229, 2015.

PALLARÉS, O.R.; BERRETTA, E.J.; MARASCHIN, G.E. The South American Campos ecosystem. In: SUTTIE, J, REYNOLDS, S.G., BATELLO, C. Grasslands of the world. FAO. p.171-219. 2005.

PEREIRA FILHO, J.M.; SILVA, A.M.A.; CÉZAR, M.F. Manejo da Caatinga para produção de caprinos e ovinos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.14, p.77-90, 2013.

PETER, A.M.B. **Composição botânica e química da dieta de bovinos, caprinos e ovinos em pastejo associativo na Caatinga nativa do Semiárido de Pernambuco**. 86p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife: UFRPE, 1992.

PIÑEIRO, G., PARUELO, J.M., OESTERHELDI, M., et al. Pathways of Grazing Effects on Soil Organic Carbon and Nitrogen. Rangland Ecology & Manegement, v.63, p.109-119, 2010.

POTT, A. (1994) Ecossistema Pantanal. In: PUIGNOU JP (ed) Utilization y manejos de pastizales. **Montevideo:IICA-PROCISUR**, pp 31-34.

POTT, A.; POTT, V. J. Flora of the Pantanal wetland. Flora and Vegetation of the Pantanal wetland. 1ed.Cham, **Switzerland: Springer**, 2021, v. 8, p. 39-228.

RIBEIRO, K.; SOUSA-NETO, E.R.; CARVALHO JÚNIOR, J.A. et al. Land cover changes and greenhouse gas emissions in two different soil covers in the Brazilian Caatinga. **Science of the Total Environment**, v. 571, p. 1048-1057, 2016.

ROGÉRIO, M.C.P; FERNANDES, F.É.P.; POMPEU, R.C.F.F. et al. Potencial Forrageiro da Vegetação Nativa da Caatinga para o Pastejo de Ovinos. **EMBRAPA Caprinos e Ovinos**. Sobral-CE, 2020.

ROSA, A.A.G. **Pastagens naturais e naturais melhoradas no desenvolvimento e desempenho reprodutivo de novilhas Hereford.** 2010. 108f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) –

Programa de Pós-Graduação em ZootePNia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2010.

SAMPAIO, E. V. S. B. E. Overview of the Brazilian Caatinga. In: BULLOCK, S. H; MOONEY, H. A.; Medina. **Seasonally Dry Tropical Forests**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. Chapter 3, p.35-63. Disponível em: <http://www.worldcat.org/title/seasonally-dry-tropical-forests/oclc/32271722/viewport> Acesso em 10 Dezembro de 2020

SANTOS, G.R.A.; BATISTA, A.M.V.; GUIM, A. et al. Determinação da composição botânica da dieta de ovinos em pastejo na Caatinga. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 1876-1833, 2008.

SANTOS, K.C.; MAGALHÃES, A.L.R.; SILVA, D.K.A. et al. Nutritional potential of forage species found in Brazilian Semiarid region. **Livestock Science**, v.195, p.118-124, 2017.

SANTOS, M.V.F.; LIRA, M.A.; DUBEUX JÚNIOR, J.C.B. et al. Potential of Caatinga forage plants in ruminant feeding. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.204-215, 2010.

SANTOS, M.V.F.; NEIVA, J.N.M. Potencial forrageiro de plantas da Caatinga. **Culturas Forrageiras No Brasil: Uso e Perspectivas.** In: SANTOS, M.V.F.; SOUZA, R.T.A.; et al. 1ª ed. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema Gráfica, 2022. p. 231-262.

SANTOS, S. A.; CARDOSO, E. L.; VALLS, J. F. M.et al. Natural pastures the Pantanal: diversity, productive potential and dynamics. Flora and Vegetation of the Pantanal wetland. 1ed.Cham, **Switzerland: Springer**, 2021a, v. 8, p. 471-489.

SANTOS, S. A.; FEIDEN, A.; SIMÃO, M.T. et al. Sistemas silvipastoris naturais e alterados no Pantanal. **Revista Brasileira de Agroecologia**. v.2, n.2, 2009.

SANTOS, S.A.; ABREU, U.G.P.; TOMICH, T.R.et al. Traditional beef cattle ranching and sustainable production in the Pantanal. In: JUNK, W.J., SILVA, C.J., NUNES DA CUNHA, C., WANTZEN, K.M. (Eds.), **The Pantanal: Ecology, Biodiversity and Sustainable Management of a Large Neotropical Seasonal Wetland. Pensoft Publishers**, Sofia, pp. 755e774.2011.

SANTOS, S.A.; CARDOSO, E.L.; PAULA, J.B. et al. Manejo de pastagem. In: WWF-Brazil. Guia de Melhores práticas pecuárias da planície pantaneira, 2021b.

SANTOS, S.A.; COSTA, C.; SOUZA, G.S.et al. Composição botânica da dieta de bovinos em pastagem nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.4, p.1648–1662, 2002.

SANTOS, S.A.; LIMA, H.P.; PEROTTO-BALDIVIESO, H.et al. GIS-fuzzy logic approach for building indices: regional feasibility and natural potential of ranching in tropical wetland. **Journal of Agricultural Informatics**. 5, 26e33, 2014.

SANTOS, S.A.; POTT, A.; CARDOSO, E.L.et al. Guia para identificação de pastagens nativas do Pantanal. Corumbá, Embrapa. 2020. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1125794/guia-para-identificacao-das-pastagens-nativas-do-pantanal

SANTOS, S.A.; SALIS, S.M.; URBANETZ, C. et al. Recomendações técnicas para o planejamento da introdução de forrageiras exóticas de forma sustentável no Pantanal. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2022. 27 p. (Embrapa Pantanal. **Documentos**, 176).

SARAIVA, F. M.; DUBEUX JÚNIOR, J.C.B.; CUNHA, M.V. et al. Performance of Forage Cactus Intercropped with Arboreal Legumes and Fertilized with Different Manure Sources. **Agronomy**, v. 12, n. 8, p. 1887, 2022.

SARMIENTO, G. The savanas of tropical América. In: BOURLIERE, F. (Ed.) Ecossistems of the world. (tropical savannas). **Elsevier Scientific**. 1983. p.245- 285.

SCHIRMANN, J.; BASTOS, D. F.; CEZIMBRA, I. M. et al. **O balanço de carbono e emissão de gases de efeito estufa.** Nativão: 30 anos de pesquisa em campo nativo, Faculdade de Agronomia UFRGS, p.62-66, 2017.

SILVA, D.L.S.; OLIVEIRA, K.P.; AROEIRA, L.J.M. et al. Chemical composition of Caatinga potential forages species. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v.18, p.267-272, 2015.

SOUZA, M.A.; ARAUJO, K.D.; ANDRADE, A.P. et al. Phytosociological analysis of the tree-shrub component of the Caatinga, Alagoas, Brazil. **Principia**, v.47, p.153-159, 2019.

SOUZA, R.T.A. **Potencial taninífero da jurema preta e do angico vermelho avaliado por diferentes métodos**. 98p. Dissertação. (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife: UFRPE, 2015.

YDOYAGA-SANTANA, D.F.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F. et al. Caracterização da caatinga e da dieta de novilhos fistulados, na época chuvosa, no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.69-78, 2011.

YDOYAGA-SANTANA, D.F.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F. et al. Consumo e desempenho de novilhas das raças Girolando e Guzerá suplementadas na Caatinga, época chuvosa, no semiárido de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.2148-2154, 2010.

10

Suplementação e pressão de pastejo em pastagens tropicais

Ricardo Andrade Reis[1]
Abmael da Silva Cardoso[2]
Juliana Duarte Messana[1]
Natalia Vilas Boas Fonseca[1]

Introdução

De modo geral, a pressão de pastejo descreve a relação entre a necessidade de recursos forrageiros pelos animais e a massa de forrageira disponível para o pastejo em uma pastagem. A produção animal máxima por hectare de pasto é referida como a capacidade de suporte da área utilizada para pastejo (Van Soest, 1994). É importante ressaltar que a produção animal máxima e a produção máxima de forragem não ocorrem na mesma pressão de pastejo. Mott (1960) descreveu a pressão ótima de pastejo como quantidades de pressão de pastejo que poderiam facilitar a produção sustentável de forragem e a eficiência da produção animal (Figura 1). No entanto, quando a pressão de pastejo não corresponde à quantidade ideal de massa de

[1] Departamento de Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Unesp Jaboticabal, São Paulo.
[2] Universidade da Flórida.

forragem, surgem incidências temporais de sub ou sobrepastejo. O subpastejo ocorre quando a pressão de pastejo tem pouco efeito sobre a produtividade das plantas e a massa de forragem excede em grande parte as necessidades forrageiras dos animais. A condição de subpastejo aumenta a quantidade de plantas em senescência e diminui a digestibilidade da forragem, contribuindo para a redução do desempenho animal (Cardoso et al., 2020). Além disso, o subpastejo permite uma seleção quase ilimitada de espécies e pode levar a uma menor diversidade de espécies em uma pastagem (Vieira et al., 2016). A demanda de nutrientes tem grandes efeitos sobre o consumo de matéria seca pelos bovinos (Allen et al., 2011; Reis et al., 2012) e mecanismos de *feedback* químico determinam a quantidade de matéria seca ingerida quando o consumo não é limitado pelo enchimento do rúmen. De fato, os bovinos geralmente selecionam as forrageiras mais densas em nutrientes disponíveis para atender às demandas metabólicas de nutrientes (Barbero et al., 2015; Koscheck et al., 2020). No entanto, quando as taxas de digestão são pequenas, o enchimento do volume ruminal pode limitar o consumo de matéria seca e impedir a ingestão adequada de nutrientes necessários para otimizar o desempenho animal. O subpastejo pode limitar a ingestão de matéria seca, reduzindo as taxas de digestão e aumentando o enchimento do volume ruminal.

O superpastejo ocorre quando a massa de forragem é consumida pelos animais mais rapidamente do que ocorre a rebrota das plantas (produção de forragem). Normalmente, quando as pastagens estão superpastejadas, as plantas estão em um estágio mais jovem de crescimento e, portanto, apresentam uma maior digestibilidade da matéria seca. No entanto, o superpastejo limita a ingestão de matéria seca e a capacidade de seleção da dieta, pois a competição entre bovinos por recursos forrageiros é grande (Van Soest, 1994; Reis et al., 2009). Assim, o superpastejo pode limitar a ingestão e a densidade nutricional das dietas entre os bovinos a pasto, pois a seleção da dieta é reduzida.

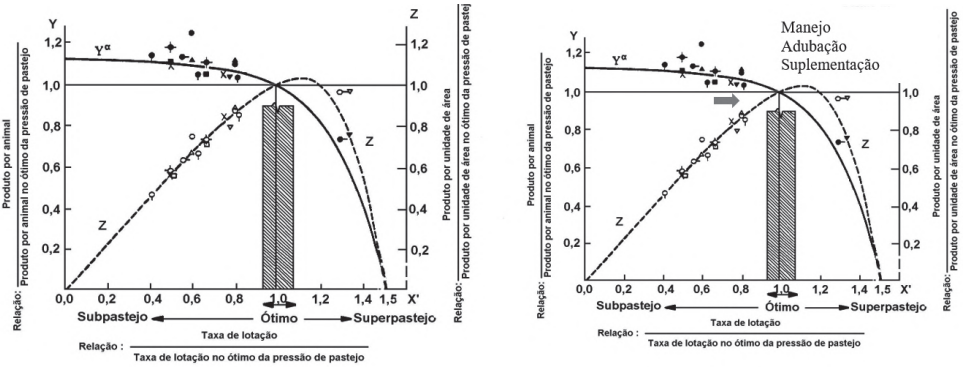

Figura 1. Relação entre taxa de lotação (X) e ganho por animal (Y) e por área (Z).
Fonte: Adaptado de Mott (1960).

O superpastejo e o subpastejo das pastagens são prejudiciais tanto para o solo, quanto para a produção futura de forragem e para a produção animal (Delevatti et al., 2019; Cardoso et al., 2020). Mott (1960) relatou que o aumento da pressão de pastejo reduz gradualmente o desempenho por animal, presumivelmente porque a qualidade da dieta diminui à medida que o animal se torna menos seletivo. No entanto, o aumento da pressão animal melhora a utilização de forragem e, portanto, o desempenho animal por área. O ponto em que a ingestão de matéria seca ou a disponibilidade de forragem se tornam limitantes resulta em drásticas quedas, tanto no desempenho por animal, quanto no desempenho por área. A pressão ótima de pastejo foi definida por Mott (1960) como o ponto em que o desempenho por animal e a produção por área de terra se cruzam. Geralmente, um subpastejo moderado resultará em melhor desempenho individual dos animais e sustentabilidade da produção de forragem sem degradar o solo.

Alternativamente, o superpastejo reduz a forragem disponível e limita qualquer produção animal individual a um ponto que também reduz a eficiência na produção por área de pastagem. O superpastejo intenso também pode limitar o crescimento futuro de forragem e a biodiversidade de espécies vegetais em pastagens, resultando em degradação.

Desta forma, o presente capítulo objetiva apresentar os principais aspectos da pressão de pastejo aplicada e o uso de suplementação á pasto.

Manejo intensivo do pastejo

Pastagens manejadas adequadamente permitem a intensificação do uso das terras, contribuindo para o sequestro de carbono, dentre as possibilidades de manejo, o uso de nitrogênio (N) é essencial para que tal otimização aconteça (Berça et al., 2019). Segundo Da Silva & Pedreira (1997), o manejo das pastagens faz parte do sistema de produção e tem por princípio a manipulação dos fatores solo-planta-animal, buscando um equilíbrio entre o suprimento e a demanda por esse alimento, sendo o objetivo permitir que os animais colham tecido foliar de alta qualidade antes que a forragem entre em senescência.

Os diferentes manejos de pastejo adotados em determinadas condições e sistemas produtivos resultam em mudanças na intensidade de desfolha das plantas, o que causa alterações na arquitetura do dossel, mudando as proporções dos componentes morfológicos, que constituem tanto a estrutura vertical, quanto a horizontal do mesmo (Santos et al., 2018). As alterações nas proporções desses componentes provocam mudanças na composição química da forragem disponível ao consumo animal, uma vez que o aumento de colmos em relação às folhas tende a diminuir as frações digestíveis e elevar as menos digestíveis e indigestíveis, dado que os colmos são estruturas de sustentação caracterizadas pela presença de carboidratos estruturais (Carvalho et al., 2007). Contudo, os manejos que derivam na maior presença folhas na estrutura do dossel encaminham-se a atender de forma mais eficiente às exigências nutricionais dos animais mantidos nesses sistemas, devido a sua composição química (Barbero et al., 2015; Leite et al., 2021).

O consumo de nutrientes é o principal fator que limita a produção de animais mantidos em pastagens, sendo a variação no desempenho gerada, principalmente pela qualidade e quantidade da forragem disponível e ao consumo de energia digestível (Reis et al., 2009). O consumo voluntário influência a eficiência com que os nutrientes ingeridos são utilizados (Mertens & Grant, 2020). De acordo com Poppi et al. (1987), o consumo de forragem pelos animais em pastejo é determinado por duas classes de fatores, os fatores não nutricionais que afetam o consumo de matéria seca são a massa da forragem (kg MS/ha), composição estrutural (por exemplo, relação folha:colmo) e oferta de forragem (kg de massa de forragem disponível por kg de peso corporal). Os fatores nutricionais, segundo Reis et al. (2009), são aqueles consequentes da dieta basal, sendo grande a influência estabelecida pela fibra insolúvel que participa diretamente no efeito de enchimento ruminal. Entretanto, fatores não nutricionais estão ligados ao efeito promovido pela planta através da estrutura do dossel disponível ao consumo e ao efeito dos animais na seleção da

forragem, tamanho e taxa de bocados e tempo de pastejo, sendo que, o manejo do pasto adotado faz com que seja muito homogêneo todos esses fatores (Carvalho et al., 2007; Reis et al., 2009).

Casagrande et al. (2011) relataram a importância do manejo do pasto de capins tropicais, com base na altura do dossel sobre as respostas de plantas e animais. A utilização da altura como fundamento do manejo permite o controle da massa de forragem e da taxa de lotação que, proporciona a determinação conjunta da qualidade e da quantidade de forragem e a manutenção da sustentabilidade do sistema. Barbero et al. (2015) e Koscheck et al. (2020) verificaram que a altura de manejo ideal para manter elevados ganhos individuais e por área é de 25 cm em sistema de pastejo manejados sob lotação contínua e carga variável em pastos de Capim-marandu.

Pastos mantidos sob lotação contínua e manejados com ajuste da taxa de lotação determinada por critério de manejo, como a interceptação luminosa de 95%, altura, massa ou oferta de forragem, proporcionam contínua ingestão de folhas jovens pelos animais, de modo que a digestibilidade da forragem consumida seja elevada (Reis et al., 2012; Hoffmann et al., 2021). Então, conhecer a estrutura do dossel forrageiro e o valor nutritivo da forragem, considerando suas variações durante o ano, é fundamental (Jaguaribe et al., 2019).

O nitrogênio é o principal nutriente para manutenção da produtividade das gramíneas forrageiras, responsável por características ligadas ao porte da planta, tais como o tamanho das folhas, tamanho do colmo, formação e desenvolvimento dos perfilhos (Duarte et al., 2020). Sendo assim, o N é o elemento que mais restringe a produtividade dos pastos (Factori et al., 2017) e apresenta correlação positiva com o crescimento e quantidade de folhas, aumentando o valor nutritivo das forragens e a produção de matéria seca (Leite et al., 2021; Fonseca et al., 2022).

Estudos conduzidos com o Capim-marandu, manejados a 25 cm de altura e adubados com 180 kg N/ha, evidenciaram alta produção de folhas, acarretando baixos valores de componentes da fração fibrosa indigestível (FDNi em torno de 16%), altos valores de carboidratos não fibrosos (CNF em torno de 18,9%), valores de fibra em detergente neutro livre de cinzas e proteína (FDNcp) de 56% e valores de proteína bruta (PB) de 13,5% (Delevatti et al., 2019). O aumento do teor de proteína em pastos adubados foi observado por Leite et al. (2021) e Fonseca et al. (2022). Observando baixo valores de FDNcp e de FDNi, e consequentemente altos valores de FDNpd (fibra em detergente neutro potencialmente digestível) e de CNF, elevam-se valores da digestibilidade da matéria orgânica e digestibilidade dos nutrientes digestíveis

totais para cerca de 60 a 65%, tendo valores da relação g PB/kg MO próximo de 200 g PB/kg MO.

Segundo Mott (1960), aumentando a taxa de lotação, objetivando-se elevar o ganho por área, a oferta de forragem diminui e consequentemente, o ganho individual é reduzido, conforme ilustrado na Figura 2. Todavia, o uso de adubação e o manejo adequado, pode melhorar ambos os ganhos sem perder o ponto de equilíbrio, em razão de que, esta técnica tem como característica elevar o aporte de nutrientes no solo para melhorar a produção da planta forrageira, além de ter significativos benefícios no valor nutritivo e características morfológicas do pasto, observando-se sempre os critérios de manejo adequado para a espécie forrageira utilizada (Delevatti et al., 2019).

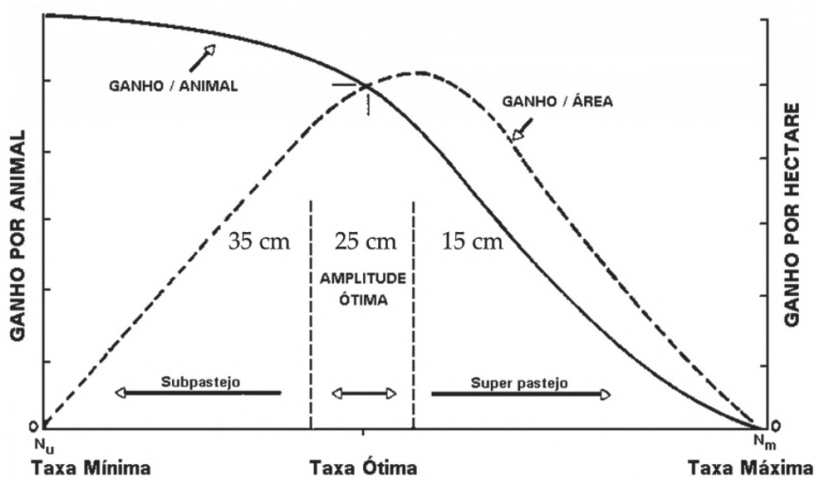

Figura 2. Relações entre pressão de pastejo, ganho de peso por animal e ganho de peso por unidade de área.

Fonte: Mott (1960).

A avaliação da qualidade do alimento disponível ao longo do período de utilização é premissa básica para se atingir os objetivos determinados em um sistema de produção economicamente viável e biologicamente sustentável. Qualidade da forragem é, talvez, o fator mais importante que influência a produtividade de um ruminante. O desempenho animal é um indicativo da qualidade da forragem, e pode ser útil para comparações entre plantas forrageiras. O valor nutritivo de uma planta forrageira é definido pela composição química da forragem, sua digestibilidade

e natureza dos produtos da digestão (Van Soest, 1994, Moore e Buxton, 2000), enquanto qualidade da forragem ou valor alimentício pode ser definida como o consumo de energia digestível e é mais adequadamente avaliada pelo desempenho animal (Moore, 1994), conforme ilustrado na Figura 3.

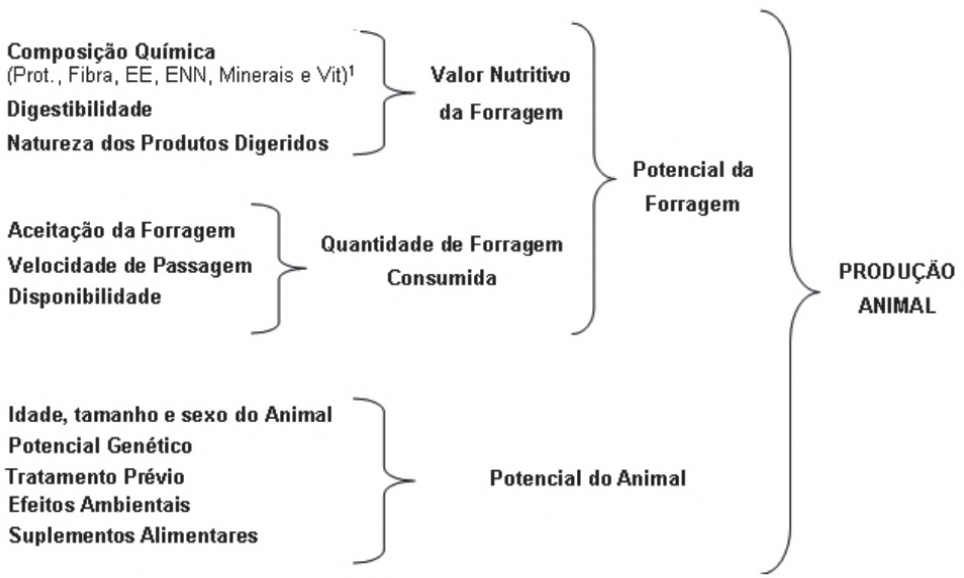

Figura 3. Fatores associados ao valor nutritivo da forragem.
Fonte: Adaptado de Mott e Moore (1970).

Os aspectos como o consumo, a digestibilidade e a eficiência de utilização são características da forragem que determinam o desempenho animal, sendo que o consumo responde por 60 a 90% das variações nos valores de digestibilidade da energia (Mertens, 1994). Desta forma, é oportuno salientar que as frações químicas que têm sido relacionadas com o consumo e digestibilidade da forragem incluem os teores de fibra, de proteína e lignina.

Casagrande et al. (2011) reportaram que ao intensificar o manejo do pastejo, aumentando a taxa de lotação e manejando pastos mais baixos é possível aumentar o ganho por área, porém, o ganho individual pode ser comprometido quando a suplementação não é utilizada, sendo assim, analisar todo o sistema torna-se importante, uma vez que os ganhos por animal podem ser pequenos, porém os

ganhos por área são elevados. Delevatti et al. (2019), Leite et al. (2021) e Fonseca et al. (2022) em estudos reportaram que, pastos adubados com doses maiores de nitrogênio sustentam maiores taxas de lotação, as quais resultam em maiores produtividades.

Segundo Mott (1960), uma situação de baixa taxa de lotação, o desempenho individual é maior, por outro lado, o ganho por área aumenta de acordo com o aumento da taxa de lotação. Dessa forma, no ponto de maior ganho por área o ganho individual não foi maximizado, devido à baixa oferta de forragem, situação causadora de baixo consumo de alimento pelos animais, por consequente, uma alternativa para aumentar a taxa de lotação das pastagens, além da suplementação da dieta, seria por meio da maior produção de forragem, que pode ser obtida com a utilização de fertilizantes nitrogenados.

Sollenberger e Vanzant (2011) relataram que de 60 a 90% das variações no desempenho de animais em pastejo poderiam ser explicadas pela oferta de forragem, levando em consideração uma mesma espécie forrageira, numa escala de baixa a alta massa de forragem. No entanto, quando a oferta não consiste no fator limitante ao consumo, 50% de tais variações podem ser explicadas pelo valor nutritivo da forrageira disponível ao consumo animal.

Durante o período de águas, animais mantidos em pastagens adubadas com 180 kg de N/ha, na forma de ureia, manejadas sob interceptação luminosa de 95% e sem suplementação, podem apresentar ganho médio superior a 800 g/dia (Delevatti et al., 2019; Hoffmann et al., 2021). O aumento na adubação nitrogenada de 50 kg/ha para 100 kg/ha e de 200 kg/ha para 300 kg/ha, acarretou respectivamente em 1,9 e 1,2 kg de peso vivo a mais por hectare, para cada quilograma adicional de N aplicado, ou seja, aumentou-se o ganho por área (Euclides et al., 1999).

A média da taxa de lotação brasileira é de 1,3 UA/ha (Wedekin et al., 2017), no entanto, em trabalhos desenvolvidos na UNESP de Jaboticabal foram reportadas taxa de lotação média de 2,5 U/ha com a utilização da prática de manejo de acordo com a altura e sem a utilização de fertilizando nitrogenado, quando ocorreu a aplicação de 150 kg N/ha/ano a taxa de lotação média foi para 5,6 UA/ha (Delevatti et al., 2019; Fonseca et al., 2022).

Manejo do pastejo para quantidade ou qualidade

O manejo do pastejo considerando a qualidade está diretamente relacionado com a oferta de forragem que é definida como a massa da forragem presente por

animal em um ponto no tempo, medido até o nível do solo. A expressão em termos absolutos e não relativos ao peso vivo pode dificultar a comparação de resultados entre e dentro das categorias animais (Allen et al., 2011; Ruggieri et al., 2020).

O desempenho animal geralmente aumenta em direção a um valor máximo e apresenta uma taxa decrescente à medida que a pressão de pastejo aumenta (Reis et al., 2009; Figura l), refletindo a influência da pressão de pastejo na quantidade de forragem consumida. O consumo de forragem normalmente se aproxima de um máximo em oferta de forragem 3 a 4 vezes maior do que a quantidade ingerida, mas só começa a diminuir acentuadamente quando a ingestão é inferior ao dobro (Ruggieri et al., 2020). Uma redução da oferta de forragem também pode diminuir a digestibilidade da forragem consumida (Casagrande et al., 2011; Reis et al., 2012), mas isso geralmente terá um impacto menor no desempenho do que a limitação direta ao consumo de forragem.

Os resultados de alguns estudos sugerem que a massa residual de forragem ou a altura do resíduo (Ruggieri et al., 2020) ou eficiência de pastejo (relação entre o consumo de forragem e a oferta de forragem) pode ser mais útil do que a oferta de forragem como preditores gerais de consumo de forragem e desempenho animal.

A oferta de forragem ou quantidade de biomassa forrageira por peso corporal (PC) animal é definida como uma medida instantânea (Allen, et al., 2011), mas é frequentemente expressa por unidade de tempo (Sollenberger et al., 2005). Em um ciclo de pastejo, pode ser difícil medir as mudanças de massa de forragem com precisão e estimar as perdas de forragem por pisoteio e decomposição de plantas ou a ingestão dos animais. De fato, quando a taxa de lotação permanece inalterada, a oferta de forragem varia normalmente dentro de um ciclo de pastejo.

Alternativamente, a estratégia de manejo “put and take” permite controlar a oferta de forragem pelo monitoramento contínuo da forragem disponível para pastejo e o ajuste do número de animais. Euclides et al. (2010) relataram que o ganho de peso individual não diferiu quando a taxa de lotação foi fixada, mas que quando a oferta de forragem foi controlada (ajuste de taxa de lotação), o ganho de peso por hectare foi 61% maior devido a aparentes melhorias na qualidade da dieta. O manejo “put and take” garante a disponibilidade de quantidade qualidade adequadas de forragem durante todo o período de pastejo, mas pode ser uma estratégia difícil de ser implementada pelos pecuaristas. Os pecuaristas geralmente não têm animais de reserva facilmente disponíveis para aumentar a taxa de lotação em um pasto, e comprar e vender continuamente animais para mudar a oferta de forragem em relação a taxa de lotação é impraticável.

Entre 2008 e 2015 um estudo de longo prazo em pastagens de Capim-marandu, submetidas a diferentes alturas de pastejo (15, 25 e 35 cm), foi conduzido em Jaboticabal, São Paulo com o objetivo de avaliar o efeito da intensidade de pastejo sobre a forragem e a produção animal (Ruggieri et al., 2020). Nesta região a estação de crescimento das forrageiras se concentra de novembro a abril (período das águas). Uma análise dos diversos anos de experimento mostrou que a altura do pasto afetou os valores de matéria orgânica (MO), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), enquanto a proteína bruta (PB) e a digestibilidade não foram afetadas. A proteína bruta variou muito ao longo dos anos, registrando-se o maior teor de PB em 2011 (16,3%) no tratamento de 15 cm, enquanto o menor teor de PB foi de 11,2%, o que ocorreu em 2014. O teor médio de PB foi de 14,7, 14,0 e 14,0% nas alturas de 15, 25 e 35 cm, respectivamente. Pastos submetidos a uma maior pressão de pastejo possuem perfilhos mais jovens como citado anteriormente, o que explica o maior teor de PB observada na altura de 15 cm.

Tanto a FDN, quanto a FDA, aumentaram linearmente com a altura do dossel. A maior concentração de FDN foi medida em 2009 em todos os tratamentos e a menor em 2011. Os valores médios de FDN durante os 7 anos de avaliação foram de 57,8, 59,1 e 59,6% nos tratamentos de 15, 25 e 35 cm, respectivamente. O valor da FDA no tratamento de 35 cm foi 32,0% maior do que as alturas de 15 e 25 cm do dossel, ambas com média de 30,4%. Os teores médios de lignina foram de 3,7, 3,8 e 4,2% nos tratamentos de 15, 25 e 35 cm, respectivamente.

O teor de FDN aumenta com a proporção de caules no pasto e com o amadurecimento da forragem, ambos dependentes do ambiente (Casagrande et al., 2011; Barbero et al., 2015; Cardoso et al., 2020. Ruggieri et al. (2020) encontraram uma forte correlação de Pearson (um coeficiente de 0,85) entre o teor de FDN e a proporção de caules. O aumento da FDN com a altura do dossel observado no estudo citado acima ocorreu, provavelmente, devido a variações na estrutura das gramíneas. Alterações na estrutura da planta alteram a interceptação da radiação luminosa (IL) quando a dose de adubação nitrogenada é a mesma entre os tratamentos (Delevatti et al., 2019). O conceito de índice de área foliar crítica afirma que, quando o pasto intercepta 95% da radiação solar, ele se aproxima de sua taxa máxima de crescimento sem que a própria planta sombreie (Da Silva et al., 2015). Interceptações luminosas superiores a 95% aumentam a senescência e a taxa de crescimento do caule, mas diminuem o valor nutritivo do capim (diminuição da PB e aumento do teor de fibra) e a produção foliar (Da Silva et al., 2015).

A altura do dossel afetou o ganho de peso diário durante a recria de bovinos jovens, que aumentou linearmente em 0,668, 0,892 e 0,902 kg de peso corporal (PC)

dia^{-1}, em média, dos tratamentos de 15, 25 e 25 cm, respectivamente. O maior ganho individual ultrapassou 1 kg peso corporal dia^{-1} e foi observado em 2013, enquanto o menor foi registrado em 2008. O maior ganho por área foi registrado em 2011 e 2013 na maior intensidade de pastejo (altura de 15 cm de pasto), e o menor foi observado em 2008 no tratamento de 35 cm (196 kg PC ha^{-1}). O ganho por área foi, em média, de 649, 530 e 439 kg PC ha^{-1} e foi afetado pela altura do dossel. Esse ganho foi registrado durante o período chuvoso (dezembro a abril). A taxa de lotação foi significativamente afetada pela altura do pasto e diminuiu linearmente em resposta à altura do pasto. A taxa de lotação média foi de 6,13, 4,73 e 4,09 UA ha^{-1} (1 unidade animal equivale a 450 kg PC) nos tratamentos de 15, 25 e 35 cm, respectivamente.

O ganho médio diário (GMD) geral aumentou com a altura do pasto (Barbero et al., 2015). Tem sido demonstrado que a seletividade do pastejo muda com a intensidade do pastejo (Vieira et al., 2016). Em dosséis mais altos, os animais podem selecionar mais folhas que têm maior valor nutritivo, o que leva a um maior GMD. Ao longo dos anos, pastagens com alturas mais altas (menor pressão de pastejo) apresentaram maiores valores de massa foliar viva por hectare e massa total por hectare. A proporção de folhas verdes no dossel é um preditor chave da produção de bovinos de corte, pois as folhas vivas apresentam maior valor nutritivo (Nave et al., 2013; Delevatti et al., 2019; Leite et al., 2021).

Altos consumos de matéria seca e desempenhos animais são alcançados quando há altas massas e oferta de forragem com alto valor nutritivo (Van Soest, 1994). A altura do dossel afeta o número de refeições por animal por dia quando é inferior a 15 cm, enquanto o tempo por refeição diminui com o aumento da altura do dossel (Greenwood et al., 2015). Estudos prévios também demonstraram que uma maior quantidade de forragem aumenta o número de refeições e reduz o tempo por refeição (Casagrande et al., 2011; Vieira et al., 2016). A melhora no desempenho animal observada neste estudo de longo prazo sugeriu que fatores nutricionais e não nutricionais limitaram o consumo de forragem (Poppi et al., 1987).

O experimento das alturas de manejo do Capim-marandu, Ruggieri et al. (2020), também avaliaram o desempenho de touros Nelore, na recria durante o período de crescimento do Capim-marandu (dezembro a abril), onde os animais receberam sal mineral adicional e os pastos foram adubados em média com 150 kg de N ha^{-1} divididas em 3 aplicações. Os animais apresentaram GMD aproximado de 0,8 kg animal^{-1} dia^{-1}, superiores aos ganhos de 0,3 kg animal^{-1} dia^{-1} observados no Brasil Central. Portanto, o desempenho animal pode ser aumentado em regiões tropicais pelo controle da altura do dossel. De acordo com Ruggieri et al. (2020), os resultados obtidos ao longo dos 7 anos de avaliação podem ser atribuídos a (1) maior massa de

forragem (>2 vezes maior do que a encontrada para limitar o consumo), (2) maior proporção de folhas vivas na massa de forragem (>50%), (3) eficiência de pastejo de 50% obtida pelo método put-and-take, (4) alta digestibilidade (>60%), (5) alto nível de PB para gramíneas tropicais (>140 g kg^{-1}), (6) concentração de FDN inferior a 60% e (7) adequada relação proteína/energia (>150 g PB kg^{-1} DOM).

A produção de forragem pode ser melhorada por meio da aplicação de fertilizantes, manejo do pastejo e controle de plantas daninhas. Um efeito positivo do aumento das doses de nitrogênio foi encontrado sobre a taxa de lotação (AU = 450 kg ha^{-1}) (Delevatti et al., 2019). A taxa de lotação foi superior aos valores de 2,4 UA ha^{-1} relatados para o Capim-marandu medidos em uma região de Mata Atlântica (Berça et al., 2019). Em um bioma Cerrado, uma taxa de lotação de 4,0 AU ha^{-1} foi medida durante o verão, que foi semelhante ao valor de 90 kg de N ha^{-1} estudado por Delevatti et al. (2019). O aumento da taxa de lotação ocorreu devido ao aumento da taxa de acúmulo de forragem. Esses aumentos podem ser obtidos com a adubação nitrogenada e manejo do Capim-marandu a 25 cm de altura do dossel. A taxa média de lotação nacional brasileira é de 1,3 UA, muito inferior aos resultados de Delevatti et al. (2019).

O aumento das doses de nitrogênio também elevou o ganho por área, que aumentou linearmente durante os 4 meses de avaliação (fase de recria) (Delevatti et al., 2019). Eles também foram maiores do que a faixa de 470 a 778 kg PV ha^{-1} relatada em um estudo anterior na mesma área, avaliando diferentes alturas de pasto (Casagrande et al., 2011; Barbero et al., 2015). A adubação nitrogenada também aumenta a produtividade, a digestibilidade da MS e o teor de proteína da forragem, levando a um maior ganho por área (Reis et al., 2012; Cardoso et al., 2020).

Um índice importante é a eficiência zootécnica do uso de nitrogênio (ganho de peso corporal por kg de N aplicado). O ganho por kg de nutriente aplicado diminuiu linearmente com a altura do pasto (Reis et al., 2012; Ruggieri et al., 2020). Um estudo calculou esse índice previamente nas condições brasileiras e relatou um valor de 2,44 kg PC kg^{-1} N (Cardoso et al., 2022).

Melhorias no regime de manejo de pastagens, onde o objetivo é a intensificação sustentável, precisam ter por base a compreensão das variações sazonais na produtividade, taxa de lotação, estrutura do pasto, fertilidade do solo e comportamento animal. O foco não deve ser apenas na produção de carcaça por animal ou área. Além disso, a intensificação da pecuária precisa reduzir a pegada ambiental produzida pela pecuária e gerar serviços ecossistêmicos, como melhoria da qualidade do solo, redução da erosão e emissões de gases de efeito estufa.

Estratégias de suplementação em pastagens tropicais no período das águas e da seca

A produção de bovinos de corte em pastagem é favorecida pela extensão territorial do Brasil e pelo seu clima tropical, o qual beneficia o crescimento das forragens tropicais· Neste sistema de produção a forragem é o único alimento disponível para os animais em pastejo e deve atender a sua exigência de nutrientes. No entanto, a forragem apresenta sazonalidade de produção, onde de 70 a 80% do seu crescimento ocorre em períodos chuvosos e de 20 a 30% em períodos secos (De Jesus et al., 2021). Desta forma, a forragem apresenta diferenças qualitativas e quantitativas entre o período seco e o chuvoso do ano, que interferem diretamente no consumo, digestibilidade e, consequentemente no desempenho produtivo dos animais (Reis et al., 2012).

Na estação chuvosa, as condições edafoclimáticas são favoráveis para a produção de folhas verdes e massa de forragem, maior proporção de conteúdo celular, maior relação folha:colmo e elevada quantidade de fibra em detergente neutro potencialmente digestível (FDNpd), com maiores teores de proteína bruta (PB) e nutrientes digestíveis totais (NDT) (Barbero et al., 2015; Poppi et al., 2018). Desta forma, a forragem do período das águas supostamente seria para atender todo o requerimento de proteína, energia, vitaminas e minerais do animal. Entretanto, raramente há um equilíbrio entre as exigências de nutrientes dos animais, para máximo desempenho, e a composição do pasto. Fato que pode ocorrer devido há distribuição irregular no regime de chuvas no período das águas, o que pode influenciar a composição da gramínea forrageira, fazendo com que a mesma apresente grande variação no teor de PB e demais nutrientes, podendo não suprir a necessidade dos animais para produção (Valadares et al., 2019).

Por outro lado, durante a estação seca, a forragem disponível para nutrição animal apresenta valores nutritivos reduzidos, com alto teor de fibra indigestível e teores de proteína bruta (PB) abaixo de 7%, valor que limita a síntese de proteína microbiana pelos microrganismos ruminais (Lazzarini et al., 2009; Figueiras et al., 2010). Isso se deve ao elevado estágio de maturidade da planta, aumento na proporção de colmo em relação às folhas, diminuição do conteúdo celular e aumento da parede celular, especialmente da lignina. Segundo Reis et al. (2009), na estação seca, a proteína é o nutriente mais limitante e, portanto, aquele com maior necessidade de suplementação, pois é determinante na capacidade de degradação dos substratos fibrosos pelos microrganismos ruminais e, consequentemente, na taxa de passagem e ingestão de matéria seca. Nesse sentido, a suplementação estratégica

durante a estação seca envolve o fornecimento de proteína, considerando os eventos ruminais de digestão, fermentação, síntese de compostos nitrogenados e ingestão de forragem de baixa qualidade. Os ganhos de peso vivo obtidos com a suplementação nessa fase podem ser baixos, garantindo a manutenção do peso do animal, moderados (até 300 g/animal/d) e até altos (de 600 a 700 g/animal/d), possibilitando o abate precoce de animais (Reis et al., 2012).

Sendo assim, o uso de sistemas de alimentação que combinam a utilização dos recursos forrageiros basais com o uso do suplemento concentrado para viabilizar o ajuste nutricional vem sendo adotadas para potencializar o desempenho dos animais a pasto (Reis et al., 2012), visando a produção compatível com mérito genético do animal e rentabilidade e o aumento da eficiência de utilização de nutrientes (Paulino et al., 2004; Detmann et al., 2014a; 2014b).

Quantidade de suplemento

O uso da suplementação de bovinos a pasto pode resultar em diversas respostas sobre o consumo e/ou digestibilidade e desempenho, que dependem do manejo de pasto adotado, da quantidade e da composição do suplemento utilizado. De acordo com Moore (1980), existem três efeitos possíveis que podem ser identificados entre a suplementação e o consumo de pasto: substitutivo, aditivo ou combinado. No efeito substitutivo, ocorre decréscimo de consumo de pasto, mas com manutenção do nível de consumo de energia digestível total. O efeito aditivo possibilita a manutenção do consumo de forragem e elevação do consumo de energia digestível pela adição do consumo de concentrado. Já quando ocorre o efeito combinado, existe uma leve redução no consumo de pasto, porém com elevação no consumo de energia digestível total devido ao suplemento. O consumo de suplementos usualmente reduz o consumo de pasto em graus variáveis ao que se denomina de taxa de substituição que, apesar de pouco previsíveis, verifica-se que é normalmente tanto maior quanto melhor for à qualidade da forragem (Minson, 1990).

A quantidade de proteína e energia necessárias para otimizar o aproveitamento dos nutrientes, entretanto, dependerá da composição química do pasto e da relação proteína bruta e matéria orgânica digestível (PB/MOD), uma vez que a eficiência de utilização de nitrogênio depende da disponibilidade de energia (Reis et al., 2009; Detmann et al., 2014b). Entretanto, a suplementação deve ser precedida da caracterização quantitativa e qualitativa da forragem disponível, principalmente

quanto às características de carboidratos e compostos nitrogenados, para garantir o fornecimento de nutrientes que limitem a atividade microbiana ruminal.

O consumo de suplemento equivalente até 0,3% do peso corporal (PC), na época das águas, não deve ser atribuído ao efeito associativo substitutivo, que influenciaria o ganho de peso dos animais e o aumento da taxa de lotação pela substituição de consumo de forragem por concentrado. Mas sim, ao aumento de ganho de peso dos animais e consequentemente, refletindo sobre o ganho por área, pois na literatura há um consenso que suplementações até essa dose não inferem em efeitos substitutivos e sim associativos aditivos ou combinados. Adicionalmente ao suplementar a dieta dos animais em pastejo com 0,3% do PV/dia, pode-se manejar pastos mais baixos, em relação a suplementação apenas com sal mineral (Reis et al., 2009). Quantidades de suplemento variando de 0,3% a 0,6% do PC para animais em crescimento a pasto, capim tropical, pode resultar em um ganho adicional satisfatório sem a necessidade de maiores doses de suplemento (Barbero et al., 2015; Koscheck et al., 2020; Simioni et al., 2022), o que torna a suplementação uma estratégia para equilibrar e utilizar os nutrientes de forma eficiente. Koscheck et al. (2020), comparando ganhos de carcaça por hectare e baixas emissões de metano, indicaram que o manejo do pasto em uma baixa altura do pasto combinado com 0,3% ou 0,6% de suplementação de PC pode resultar em uma maior eficiência de utilização de nutrientes pelos touros.

Entretanto, no período das secas uma alternativa vantajosa de suplementação é o uso de suplementos múltiplos (proteicos e energéticos), que pode resultar em ganhos na ordem de 150 a 300 g animal^{-1} d^{-1} com 0,5 % PC e 700 a 1000 g animal^{-1} d^{-1} com 0,8 a 1 % PC suplemento (Berça et al., 2022).

De maneira geral, os suplementos concentrados no período das águas não alteram o consumo de forragem ou promove um efeito combinado com redução no consumo de forragem e aumento no consumo de nutrientes, principalmente quando a forragem possui características nutricionais semelhantes a dos suplementos. Nas condições em que ocorre efeito substitutivo, a suplementação auxilia no aumento da lotação, sem prejudicar o desempenho.

De acordo com Horn & McCollum (1987), teores de suplementação acima de 0,7% do PC dia^{-1}, geralmente, proporcionam redução no consumo de forragem. No entanto, em alguns casos verifica-se este efeito até mesmo com doses inferiores (Costa et al., 2011). Nestas condições, haverá sobra de forragem. Desta forma, deve-se promover ajuste do número de animais em função da massa de forragem, que pode ser feito utilizando um critério de manejo como, altura do pasto, oferta de forragem, IAF residual, entre outros.

Nessa linha de trabalho, Costa et al. (2020) observaram que teores crescentes de suplementação (0; 0,3; 0,6 e 0,9% PC), no período das águas, resultaram em aumentos lineares em ganho médio diário, taxa de lotação e em ganho de peso corporal por área. Os autores afirmaram que a energia foi o primeiro fator limitante no pastoreio intensivo de bovinos em forragens tropicais contendo mais que 12% PB na MS. Os resultados da suplementação energética em 0,6–0,9% PC em pastagens tropicais com 12,1% PB ou superior foi uma estratégia eficaz para melhorar a fermentação ruminal e metabolismo de nitrogênio de bovinos a pasto. Adicionalmente, os autores observaram que a o aumento da proteína verdadeira ou nitrogênio não proteico nos suplementos energéticos não traz benefícios extras para criação de bovinos em pastagens tropicais com 12,1% PB ou mais.

Além disso, a substituição de alimentos sem amido ou com baixo teor de amido, como, por exemplo, polpa cítrica e glúten de milho ração, por uma fonte de energia com alto teor de amido, o grão de sorgo moído não teve efeito sobre o desempenho de bovinos em pastagens tropicais. A suplementação com milho moído em até 0,9% do PC para bovinos em pastejo, forrageiras tropicais com 12% PB ou superior, não tem efeito negativo na degradabilidade da FDN, a substituição da fonte de energia suplementar não resultou em efeitos negativos no pH do rúmen e digestão de fibras. Os autores também observaram que a adoção da suplementação a 0,3% do PC em um sistema de pastejo rotacionado, intensivamente manejado, não aumentou o consumo de energia e o ganho médio diário, devido à alta taxa de substituição.

A suplementação eficiente ocorre quando se defini com clareza seus objetivos dentro do sistema de produção. Assim, o aporte de nutrientes obtidos via suplementação, pode visar desempenhos diferenciados dos animais.

Composição do suplemento

A composição do suplemento a ser adotada em um sistema de alimentação de bovinos a pasto é variável com objetivo que se pretende alcançar, assim quando a disponibilidade de forragem é alta, porém com baixo conteúdo proteíco, ou ainda quando a dieta é pobre em energia, a suplementação com proteínas não degradáveis no rúmen é recomendada.

A suplementação com fontes de proteína não degradável no rúmen (PNDR) aumenta o aporte de proteína metabolizável (PM), podendo aumentar a eficiência de utilização dos aminoácidos (AA) e desempenho de animais mantidos em pastagens no período das águas (Poppi & McLennan, 1995; Calsamiglia et al., 2010; Zhou et al., 2015), assim como pode contribuir com a reciclagem de nitrogênio favorecendo

a degradação da fibra potencialmente digestível. Neste contexto, a suplementação com PNDR pode ser uma estratégia eficaz para aumentar o desempenho animal e a retenção proteica, por meio do fornecimento de PM, como indicado por pesquisas (Paengkoum et al. 2019).

No entanto, a melhoria na resposta produtiva com a utilização da suplementação com PNDR para animais em pastejo está diretamente relacionada com a disponibilidade e qualidade da forragem e só pode ser viável se a proteína degradável no rumen (PDR) não for limitante para crescimento microbiano (Bandyk et al., 2001).

A menor digestibilidade da forragem durante o período seco está relacionada ao suprimento insuficiente de N para o crescimento das bactérias fibrolíticas no rúmen (Leng, 1990). Nessas condições, observa-se redução da ingestão de forragem, o que explica o menor desempenho de bovinos mantidos em pastagem no período da seca (Paulino et al., 2008). Torna-se óbvio que nessas condições, a suplementação proteica com fontes de PDR otimizaria a utilização das pastagens no período da seca devido ao fornecimento de N prontamente disponível para o crescimento das bactérias fibrolíticas no ambiente ruminal (Detmann et al., 2009). Além disso, o suprimento adicional de fontes de PDR e PNDR pode influenciar na partição dos nutrientes, por meio da modulação no suprimento e metabolismo da glicose (Waterman et al., 2006). Por outro lado, no período das águas as forragens são classificadas como de média a alta qualidade, com teores de compostos nitrogenados (PDR) acima do mínimo recomendado para plena atividade das bactérias fibrolíticas (Reis et al., 2011). Contudo, nessas condições o suprimento de AA's pela PMIC não é suficiente para atender ganhos acima de 0,5 kg/dia. Desta forma, a suplementação com fontes de PNDR pode ser uma importante estratégia para complementar os aminoácidos de origem microbiana, e assim aumentar a eficiência de utilização dos aminoácidos e desempenho de animais mantidos em pastagens no período das águas (Poppi & McLennan, 1995; Calsamiglia et al., 2010; Zhou et al., 2015).

A suplementação com PNDR, além de promover incremento no desempenho, pode provocar alterações no padrão de fermentação ruminal, síntese microbiana, digestibilidade total de nutrientes e retenção proteica. Paengkoum et al. (2019) avaliaram inclusão de doses de PNDR na dieta de bovinos de corte em crescimento e observaram redução na produção de nitrogênio amoniacal ruminal, sem afetar a digestibilidade dos nutrientes e a população de microrganismos ruminais, sugerindo que ao modificar o sítio de maior aproveitamento da proteína para o intestino delgado não se limitou o crescimento microbiano e, consequentemente a síntese de proteína microbiana. No entanto, Camargo et al. (2022) embora tenham observado

ganhos adicionais de 195 g dia^{-1} com a suplementação com PNDR, e aumento da digestibilidade aparente total da PB, não observaram diferenças no pH ruminal e N microbiano entre os tratamentos. A suplementação com a fonte de PNDR, farelo de soja protegido, resultou em maior retenção de N (g d^{-1}), em comparação com a suplementação mineral, mas não diferiu entre as fontes de PNDR. Além de aumentar o desempenho, a suplementação com PNDR também pode resultar em maior eficiência de utilização de N, reduzindo a excreção desse nutriente, que pode passar de 70% do total ingerido em sistemas de alimentação ineficientes.

A suplementação de bovinos a pasto é realizada com objetivo aprimorar a ingestão de energia e nutrientes, em relação aos encontrados em dietas exclusivas a pasto. Se os animais ingerem forragem e carboidratos facilmente fermentáveis, microrganismo fibrolíticos pode competir com carboidratos não fibrosos por substratos como amônia, peptídeos, enxofre e esqueleto de carbono de cadeia ramificada para o seu crescimento (Berça et al., 2022). Assim, uma suplementação estratégica deve potencializar o uso da forragem incrementando sua digestão, aumentando a taxa de passagem de resíduos indigestíveis, como resultado promovendo maior consumo de nutrientes digestíveis totais.

De acordo com Poppi & McLennan (1995), a suplementação energética é uma estratégia para permitir o uso de amônia para ser capturada e incorporada na proteína microbiana, diminuindo a perda de N via urina, fezes ou saliva. No entanto, a produção de proteína microbiana varia de acordo com a fonte da energia suplementar, tal como amido, fibra solúvel, pectina ou açúcar, e a eficiência máxima na síntese de proteína microbiana é alcançada quando se observa 160 g PB/kg de matéria orgânica degradada (MOD), enquanto valores próximos a 210 g PB/kg de MOD resultam em perda apreciável de N (Poppi & McLennan, 1995; Dewhurst et al., 2000).

A suplementação de animais a pasto com uma fonte de energia resultaria em fermentação ruminal mais eficiente e uso mais eficiente do N da forragem para síntese microbiana, fornecendo assim mais PB microbiano e energia metabolizável para o animal, conforme sugerido por Santos et al. (2014) em pastagens manejadas intensivamente. Por outro lado, Leng (1990) relata que a inclusão de grãos em rações volumosas pode reduzir a digestibilidade da fibra, o que é inerente a dois efeitos que interferem no crescimento das bactérias celulolíticas: um específico (queda do pH) e outro inespecífico (efeito do carboidrato). Em condições tropicas e animais mantidos nas pastagens, a variação do pH ruminal devido à suplementação da dieta parece ser relativamente pequena, não interferindo no adequado crescimento das bactérias que utilizam carboidratos fibrosos, portanto, nessas condições o efeito carboidrato pode ser considerado o principal responsável pela depressão da digestibilidade da

fibra. Os resultados de Rooke et al. (1987) e Huhtanen (1987) suportam a afirmativa que a disponibilidade de carboidratos solúveis pode deprimir a digestão da fibra sem afetar o pH ruminal e esse quadro parece ser reflexo da alta efetividade das fibras longas (Mertens, 1994) que atuam na manutenção das condições ruminais.

A suplementação com carboidratos não fibrosos (NFC) e a suplementação de N na estação chuvosa pode fornecer energia adicional para os bovinos em pastejo, permitindo maior absorção de compostos N no rúmen (Detmann et al., 2005). Além disso, é bem conhecido que a alimentação com grãos de cereais diminui a produção de metano (CH_4) (Blaxter, 1962), aumentando a síntese de propionato no rúmen e diminuindo a população de microrganismos metanogênicos ruminais (Granja-Salcedo et al., 2016). Simioni et al. (2022) observaram que ao suplementar animais a pasto com suplemento à base de milho na estação chuvosa houve a melhora do desempenho animal e características de carcaça, e a diminuição das emissões de CH_4 por unidade de produto de touros de corte em crescimento (Simioni et al., 2022).

A suplementação com alto valor energético, como grãos ou subprodutos, pode ser uma estratégia para superar as limitações na ingestão de gramíneas tropicais, mas pode diminuir o consumo de forragem devido à substituição (Lake et al., 1974). Quando a taxa de substituição é alta, suplementação pode não aumentar os consumos de matéria seca total (MS) nem de energia, aumentando potencialmente os custos de produção e comprometer a rentabilidade (Moore, 1980; 1994).

Costa et al. (2020) afirmaram que quando a suplementação energética é utilizada em sistemas intensivos de pastejo em gramíneas tropicais, é recomendável ajustar forragem acumulada e a taxa de lotação para fornecer estrutura favorável do pasto e composição morfológica de forragem.

As características nutricionais do suplemento a ser utilizado dependerão da quantidade e da qualidade da forragem ofertada, que variam muito durante o ano, em função da adubação, do manejo adotado, das características físicas e químicas do solo, espécie forrageira, condições climáticas, entre outros. Deste modo, pode-se inferir que as características nutricionais e as quantidades dos suplementos fornecidos não deverão ser as mesmas em toda a estação.

Impactos da suplementação com concentrado na pressão de pastejo

Antes de estabelecer uma estratégia de suplementação tem-se que considerar a capacidade de suporte de uma pastagem que representa a taxa de lotação (UA/

ha) no ótimo da pressão de pastejo, a qual é definida como a relação entre a taxa de lotação e a quantidade de forragem disponível (Mott, 1960; Allen et al., 2011).

No ponto ótimo de pastejo, pode-se obter rendimentos por animal e por área inferiores aos valores máximos (Figura 1 - Mott, 1960), mas tem-se a possibilidade de diminuir a degradação das pastagens, aumentando a longevidade dos pastos, resultando em maior estabilidade do sistema de produção em termos de emissões de gases efeito estufa, devido principalmente ao sequestro de carbono no solo (Cardoso et al., 2020). Segundo os autores citados a intensificação sustentável aplicada a pecuária de corte através do manejo das pastagens, adubação e suplementação da dieta tem alto potencial para aumentar as produções por animal e por área e ao mesmo tempo mitigar os gases efeito estufa através da deposição de carbono no solo, mitigação das emissões de metano, bem como permitindo o aumento da eficiência de uso de nitrogênio, consequentemente minimizando as emissões de óxido nitroso das excretas dos animais, notadamente na urina.

Segundo os trabalhos conduzidos na FCAV/UNESP (Tabela 1), a combinação de estratégias de manejo das pastagens, adubação e suplementação podem aumentar concomitantemente os ganhos por animal e por área, bem como a capacidade de suporte das pastagens na condição ótima de manejo, na qual observa-se o ajuste entre a taxa de lotação e oferta de forragem, bem como diminuição na degradação e aumento na longevidade dos pastos, sendo um importante fator determinante na sustentabilidade do sistema de produção.

As pesquisas relacionadas na Tabela 1 foram conduzidas com o Capim-marandu (*Urochloa brizantha*) manejado em sistema de lotação contínua e carga variável, segundo o critério de interceptação luminosa de 95%, e altura de manejo de 25 a 35 cm (Santana et al., 2017). As áreas foram corrigidas com aplicação de calcáreo e gesso, adubadas anualmente com fontes de fosforo, potássio e diferentes doses de nitrogênio (Delevatti et al., 2019; Leite et., 2021).

Ao analisar a resposta do desempenho animal em função da suplementação com concentrado em pastos mantidos com diferentes alturas observou-se que a suplementação com 0,3 % PC V de concentrado permitiu manter os pastos numa menor altura, ou seja, maior taxa de lotação, sem prejudicar o desempenho animal. Dessa forma, os autores concluíram que ao utilizar suplementação concentrada, a capacidade suporte dos pastos foi superior a de pastos nos quais os animais foram suplementados apenas com sal mineral. Quando trabalhamos no ponto de pressão de pastejo ótimo, proposto por Mott (1960) (Figura 1), podemos obter o máximo ganho por área e por animal modulado com o uso de suplementos. Na curva de Mott, o ganho por área apresenta máxima produção um pouco acima da capacidade suporte

ótima e com redução acentuada logo após esse pico. A suplementação na época das águas em doses moderadas, por exemplo, 0,3% do PC, possibilita o deslocamento das curvas de ganho de peso individual e por área acima daqueles observados em animais sem suplementação, ou seja, o ponto ótimo pode ser deslocado em uma situação de maior lotação sem prejudicar o ganho individual.

Essa constatação, com suplementações de até 0,3% do PV não deve ser atribuída ao efeito associativo substitutivo, que influenciaria o ganho de peso dos animais e o aumento da taxa de lotação pela substituição de consumo de forragem por concentrado. Mas sim, ao aumento de ganho de peso dos animais e, consequentemente, refletindo sobre o ganho por área, pois na literatura há um consenso de que a suplementações até essa dose não inferem em efeitos substitutivos e sim associativos aditivos ou combinados. Sendo assim, pode-se inferir que a suplementação estratégica permite maximizar ganho de peso animal e por área.

Nos experimentos foram avaliados os efeitos da suplementação proteica, energética e ambas, sobre o consumo, digestibilidade, parâmetros metabólicos, ganhos de peso por animal e por área (Tabela 1). Os pastos de Capim-marandu manejados de acordo com o critério de interceptação luminosa de 95% apresentaram altos teores de proteína bruta, frações A, B1, B2 de compostos nitrogenados, associado a baixos valores de FDNi (Fibra detergente neutro indigestível) e altas proporções de FDNpd e CNF, resultando em alto consumo, digestibilidade e desempenho animal no período das águas (Tabela 1).

A análise dos dados da Tabela 1 evidenciam altos ganhos de peso decorrentes da alta disponibilidade de nitrogênio solúvel e de energia no rumen. Os resultados dos trabalhos demonstram que os animais recriados em pastos com altos conteúdos nitrogênio podem consumir quantidades adequadas de N disponível para a produção de proteína microbiana (Chizzotti et al., 2015), sugerindo o balanço entre as quantidades de N ingeridos e excretados.

Dados de literatura referentes a animais mantidos em pastos adubados com N mostram valores mais altos de retenção de N (g/dia). A síntese de proteína microbiana pode ser maximizada quando se observa a relação de 160 g de PB por kg de matéria orgânica digestível (Poppi & McLeann, 1995). De acordo com Detmann et al. (2014b), gramíneas tropicais com baixos conteúdos de proteína podem resultar em balanço de N positivo, quando a relação PB matéria orgânica degradável (MOD) é de 191 g/kg MOD.

Nos trabalhos relacionados na Tabela 1, os valores de PB kg MOD observados são superiores a 200 g/kg MOD devido, principalmente aos altos conteúdos de PB dos pastos (Fonseca et al., 2022; Leite et al., 2021). Os resultados das pesquisas

(Tabela 1) evidenciam os efeitos positivos da suplementação proteico energética, principalmente nos trabalhos nos quais foram utilizados proteína não degradável no rumen. Da mesma forma, as análises dos resultados mostram efeito positivo da suplementação energética sobre os ganhos de peso por animal e por área (Tabela 1).

Nos experimentos nos quais foram avaliados a suplementação energética foram registrados valores mais baixos nas relações PB kg MOD^{-1} em resposta a suplementação, mas os dados relacionados a síntese de proteína microbiana, bem como de desempenho animal evidenciam as respostas positivas, provavelmente devido aos altos teores de proteína solúvel dos pastos. De maneira geral, foram observados menores excreções de nitrogênio na urina o que propiciou menores produção de oxido nitroso (Cardoso et al., 2019; Hoffman et al., 2021; Fonseca et al., 2022).

Tabela 1. Efeitos da suplementação sobre os ganhos de peso por animal e por área de bovinos de corte recriados em pastagens de *Urochloa brizantha* no período das águas

Suplementos Proteico Energéticos-PE (% PV)					Fonte
	Mineral	PE			
Peso inicial, kg	216	215	---	---	Novilhas Nelore, PE=Proteico energético 0,3% PV. (Casagrande et al., 2011)
Ganho, kg dia^{-1}	0,49	0,65	---	---	
Ganho, kg ha^{-1}	509	621	---	---	
	Mineral	PE 0,3	PE 0,6		
Peso inicial, kg	336	336	336	---	Tourinhos Nelore, PE= Proteico energético 0,3 e 0,6% PV. (Barbero et al., 2015)
Ganho, kg dia^{-1}	1,11	1,15	1,13	---	
Ganho, kg ha^{-1}	436	568	799	---	
	B0,6	M 0,1	M 0,3	A0,1	
Peso inicial, kg	230	230	230	230	Tourinhos Nelore, PE e diferentes alturas: B0,6= baixo-15cm, 0,6% PV; M0,1= médio- 25cm, 0,1% PV; M0,3= médio- 25cm, 0,3% PV; A0,1= alto- 35cm, 0,1% PV. (Koscheck et al., 2020)
Ganho, kg dia^{-1}	0,97	0,84	0,94	0,96	
Ganho, kg ha^{-1}	1344	820	916	715	

Continuação...

	Mineral	FA	DDG 50	DDG100	
Peso inicial, kg	334	351	344	352	Tourinhos Nelore, FA=Farelo algodão, DDG50= 50%, DDG100= 100%; 0,3% PV. (Araujo et al., 2021)
Ganho, kg dia^{-1}	0,90	1,04	1,04	1,15	
Ganho, kg ha^{-1}	584	622	599	682	
	Mineral	FA	DDG50	DDG100	
Peso inicial, kg	247	247	246	252	Tourinhos Nelore, FA= Farelo algodão, DDG50= 50%, DDG100= 100%; 0,3% PV. (Hoffmann et al., 2021)
Ganho, kg dia^{-1}	0,83	1,10	1,09	1,08	
Ganho, kg ha^{-1}	709	926	893	927	
Suplementos Proteico Energéticos-PE e Energéticos-E (% PV)					
	Mineral	E	P		
Peso inicial, kg	262	257	267	---	Tourinhos Nelore, E= Milho (0,3% PV), P= Polpa cítrica (0,3% PV). (Oliveira, 2014)
Ganho, kg dia^{-1}	0,65	0,93	0,95	---	
Ganho, kg ha^{-1}	513	778	803	---	
	Mineral	E 0,3	PE 0,3	---	
Peso inicial, kg	206	206	206	---	Novilhas Nelore. E=Energético, PE= proteico/energético, 0,3%PV. (Vieira et al., 2016)
Ganho, kg dia^{-1}	0,58	0,77	0,77	---	
Ganho, kg ha^{-1}	542	708	720	---	
		FS	E	DDG100	
Peso inicial,kg	--	256	249	252	Tourinhos Nelore, FS=Farelo soja, E=Energia-milho moído, DDG100=100%, 0,3% PV. (Ferrari et al., 2021)
Ganho, kg dia^{-1}	--	0,92	0,97	0,93	
Ganho, kg ha^{-1}	---	825	891	831	
	Mineral	FS	E	DDG100	
Peso inicial, kg	219	231	229	230	Tourinhos Nelore, FS=Farelo soja, E=Energia - milho moído, DDG100=100%, 0,3% PV. (Renesto, 2021)
Ganho, kg dia^{-1}	0,64	0,98	0,96	0,95	
Ganho, kg ha^{-1}	403	747	708	701	
	E	EF	M	MF	
Peso inicial, kg	212	213	209	211	Tourinhos Nelore, E=Energia sem fitogênico e EF=Energia com fitogênico 0,3%PV, M=mineral sem fitogênico, MF= mineral com fitogênico. (Teobaldo et al., 2022)
Ganho, kg dia^{-1}	0,84	0,90	0,77	0,77	
Ganho, kg ha^{-1}	627	748	510	528	

* Experimentos conduzidos na FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal em pastagens de *Urochloa brizantha*, Marandu em método de pastejo de lotação contínua e carga variável.

Nas condições brasileiras, durante a estação seca, o rebanho bovino alimenta-se de forragem de baixo valor nutritivo, oriunda do crescimento do período de primavera/verão, caracterizadas por um elevado teor de fibra indigerível e teores de proteína bruta inferiores ao teor crítico, 6 a 7% MS, limitando desta forma o seu consumo. Desta forma, no período de secas, o propósito da suplementação é adequar os teores deficientes de nitrogênio na forragem, de tal forma a aumentar a eficiência de degradação da fração fibrosa e, consequentemente, a taxa de passagem e o consumo de matéria seca da forragem, bem como a síntese de proteína microbiana (Moore, 1994; Detmann et al., 2014b; Lazzarini et al., 2009; Figueiras et al., 2010).

A suplementação no período das secas, além de evitar a perda de peso dos animais, pode promover ganho diário de 0,10 a 0,35 kg/dia, com consumo entre 0,1 e 0,3 % do PV. Vale ressaltar que é imprescindível definir com clareza, os objetivos da suplementação dentro do sistema de produção. Assim, o aporte de nutrientes via suplementação durante a recria e recuperação de escore corporal de matrizes e touros, pode visar níveis diferenciados de desempenho dos animais, desde a simples mantença de peso, passando por ganhos moderados de cerca de 200-300 g/dia por animal, até ganhos de 500-600g/dia, quando o objetivo é cobrir fêmeas com cerca de 14 meses e/ou abater machos aos 20 meses de idade.

Por outro lado, na fase de terminação os suplementos devem proporcionar ganhos de cerca de 700 g/dia para novilhas e acima de 800 g/dia para machos em engorda (Paulino et al., 2003). Desta forma, tem-se a possibilidade de utilizar suplementos com diferentes características nutricionais, como, por exemplo, os sais proteinado, misturas múltiplas e suplementos proteicos energéticos que poderão atender o requerimento de categorias específicas de acordo com os níveis de ganho pré-estabelecidos. Em suma a formulação do suplemento deve contemplar os objetivos a serem alcançados em relação ao ganho de peso e considerar a interação direta com as características quantitativas e qualitativas da forragem disponível. No entanto, a maximização do consumo de forragem, bem como, a saúde ruminal sempre devem estar presentes na conceituação da formulação do suplemento e na redução da pressão de pastejo.

Considerações finais

Modificações no regime de manejo de pastagens, visando à intensificação sustentável, devem ser adaptadas às flutuações sazonais na produtividade, taxa de lotação, estrutura do pasto, fertilidade do solo e comportamento animal. A

suplementação, deve ser precedida da caracterização quantitativa e qualitativa da forragem disponível, principalmente quanto às características de carboidratos e compostos nitrogenados, para garantir o fornecimento de nutrientes que limitem a atividade microbiana ruminal e máximo desempenho animal. Aplicação de técnicas como manejo de pasto, adubação nitrogenada e o uso da suplementação permite um aumento da capacidade de suporte da pastagem, assim como maior produção por área concomitantemente ao máximo desempenho animal, propiciando a intensificação sustentável dos sistemas de produção.

Referências

Allen, V. G., Batello, C., Berretta, E. J., Hodgson, J., Kothmann, M., Li, X., Mcivor, J., Milne, J., Morris, C., Peeters, A. & Sanderson, M. (2011). An international terminology for grazing lands and grazing animals. Grass and forage science, 66(1), 2.

Araújo, T. L. D. R., da Silva, W. L., Berça, A. S., Cardoso, A. D. S., Barbero, R. P., Romanzini, E. P. & Reis, R. A. (2021). Effects of replacing cottonseed meal with corn dried distillers' grain on ruminal parameters, performance, and enteric methane emissions in young nellore bulls reared in tropical pastures. Animals, 11(10), 2959.

Bandyk, C. A., Cochran, R. C., Wickersham, T. A., Titgemeyer, E. C., Farmer, C. G. & Higgins, J. J. (2001). Effect of ruminal vs postruminal administration of degradable protein on utilization of low-quality forage by beef steers. Journal of Animal Science, 79(1), 225-231.

Barbero, R. P., Malheiros, E. B., Araújo, T. L. R., Nave, R. L. G., Mulliniks, J. T., Berchielli, T. T., Ruggieri, A, C. & Reis, R. A. (2015). Combining Marandu grass grazing height and supplementation level to optimize growth and productivity of yearling bulls. Animal Feed Science and Technology, 209, 110-118.

Berça, A. S., Cardoso, A. D. S., Longhini, V. Z., Tedeschi, L. O., Boddey, R. M., Berndt, A., Reis, R.A. & Ruggieri, A. C. (2019). Methane production and nitrogen balance of dairy heifers grazing palisade grass cv. Marandu alone or with forage peanut. Journal of animal science, 97(11), 4625-4634.

Berça, A.S., Romanzini, E. P., Cardoso, A.S., Ferreira, L.E., D'Aurea, A.P., Fernandes, L B., Reis, R. A. (2022). Advances in Pasture Management and Animal Nutrition to Optimize Beef Cattle Production in Grazing Systems.

Blaxter, K. L. (1962). Energy metabolism of ruminants. Springfield (IL): Charles C. Thomas.

Camargo, K. D. V., Messana, J. D., Silva, L. G., Granja-Salcedo, Y. T., Dias, A. V. L., Alves, K. L. G. C., Gonçalves, P. H., Reis, R. A., Berchielli, T. T. (2022). Intake, metabolism parameters, and performance of growing beef cattle on pasture supplemented with different rumen undegradable protein with different amino acid profile. Animal Feed Science and Technology, 286, 115258.

Calsamiglia, S., Ferret, A., Reynolds, C. K., Kristensen, N. B., & Van Vuuren, A. M. (2010). Strategies for optimizing nitrogen use by ruminants. Animal: International Journal of Animal Bioscience, 4(7), 1184.

Carvalho, P. C. D. F., Trindade, J. K. D., Macari, S., Fisher, V., Poli, C. H. E. C., & Lang, C. R. (2007). Consumo de forragens por bovinos em pastejo. Simpósio sobre Manejo da Pastagem, 24, 177-218.

Casagrande, D. R., Ruggieri, A. C., Moretti, M. H., Berchielli, T. T., Vieira, B. R., Roth, A. P. D. T. P., & Reis, R. A. (2011). Sward canopy structure and performance of beef heifers under supplementation in Brachiaria brizantha cv. Marandu pastures maintained with three grazing intensities in a continuous stocking system. Revista Brasileira de Zootecnia, 40, 2074-2082.

Cardoso, A.S, Oliveira, S. C., Janusckiewicz, E. R., Brito, L. F., da Silva Morgado, E., Reis, R. A., & Ruggieri, A. C. (2019). Seasonal effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions for beef cattle excreta and urea fertilizer applied to a tropical pasture. Soil and Tillage Research, 194, 104341.

Cardoso, A. D. S., Barbero, R. P., Romanzini, E. P., Teobaldo, R. W., Ongaratto, F., Fernandes, M. H. M. D. R., Ruggieri, A. C., & Reis, R. A. (2020). Intensification: A key strategy to achieve great animal and environmental beef cattle production sustainability in Brachiaria grasslands. Sustainability, 12(16), 6656.

Cardoso, A.S, Longhini, V. Z., Berça, A. S., Ongaratto, F., Siniscalchi, D., Reis, R. A., & Ruggieri, A. C. (2022). Pasture Management and Greenhouse Gases Emissions. Bioscience Journal, 38(e38099), 1981-3163.

Chizzotti, F.H.M., Pereira, O.G., Valadares Filho, S.C., Chizzotti, M.L., Rodrigues, R.T.S., Tedeschi, L.O., & Silva, T.C. (2015). Does sugar cane ensiled with calcium oxide affect intake, digestibility, performance, and microbial efficiency in beef cattle? Animal Feed Science and Technology, 203, 23–32.

Costa, D. F. A., Correia, P. S., Dorea, J. R. R., De Souza, J., de Souza Congio, G. F., Pires, A. V., Malafaia, P. A. M., Drouillard, J., Dias, C. T. S., Luchiari-Filho, A. & Santos, F. A. P. (2020). Strategic supplementation of growing cattle on tropical pastures improves nutrient use and

animal performance, with fewer days required on the finishing phase. Animal Production Science, 61(5), 480-493.

Costa, V. A. C., Detmann, E., Paulino, M. F., Valadares Filho, S. D. C., Carvalho, I. P. C. D., & Monteiro, L. P. (2011). Consumo e digestibilidade em bovinos em pastejo durante o período das águas sob suplementação com fontes de compostos nitrogenados e de carboidratos. Revista Brasileira de Zootecnia, 40, 1788-1798.

Da Silva, S.C., Pedreira, C.G.S. (1997). Princípios de ecologia aplicados ao manejo de pastagem. Anais... Simpósio Sobre Ecossistemas De Pastagens, 3., Jaboticabal, FUNEP, p. 1-62.

Da Silva, S.C.; Sbrissia, A.F.; Pereira, L.E.T. Ecophysiology of C4 forage grasses-understanding plant growth for optimizing their use and management. Agriculture 2015, 5, 598–625.

De Araújo, T. L. D. R., da Silva, W. L., Berça, A. S., Cardoso, A. D. S., Barbero, R. P., Romanzini, E. P., & Reis, R. A. (2021). Effects of replacing cottonseed meal with corn dried distillers' grain on ruminal parameters, performance, and enteric methane emissions in young nellore bulls reared in tropical pastures. Animals, 11(10), 2959.

De Jesus, F. L. F., Sanches, A. C., de Souza, D. P., Mendonça, F. C., Gomes, E. P., Santos, R. C., Santos, J. E. O., & da Silva, J. L. B. (2021). Seasonality of biomass production of irrigated Mombaça 'Guinea grass'. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science, 71(3), 156-164.

Delevatti, L. M., Cardoso, A. S., Barbero, R. P., Leite, R. G., Romanzini, E. P., Ruggieri, A. C., & Reis, R. A. (2019). Effect of nitrogen application rate on yield, forage quality, and animal performance in a tropical pasture. Scientific reports, 9(1), 1-9.

Detmann, E., Paulino, M. F., Valadares Filho, S. D. C., Cecon, P. R., Zervoudakis, J. T., Cabral, L. D. S., Gonçalves, L.C., & Valadares, R. F. D. (2005). Níveis de proteína em suplementos para terminação de bovinos em pastejo durante o período de transição seca/águas: digestibilidade aparente e parâmetros do metabolismo ruminal e dos compostos nitrogenados. Revista Brasileira de Zootecnia, 34, 1380-1391.

Detmann, E., Paulino, M. F., Mantovani, H. C., Valadares Filho, S. D. C., Sampaio, C. B., de Souza, M. A., Lazzarini, Í., & Detmann, K. S. (2009). Parameterization of ruminal fibre degradation in low-quality tropical forage using Michaelis–Menten kinetics. Livestock Science, 126(1-3), 136-146.

Detmann, E., Paulino, M.F., Valadares Filho, S.C., Huhtanen, P. (2014a). Nutritional aspects applied to grazing cattle in the tropics: A review based on Brazilian results. Semina Ciências Agrárias, v.35, p.2829–2854.

Detmann, E., Valente, É. E., Batista, E. D., & Huhtanen, P. (2014b). An evaluation of the performance and efficiency of nitrogen utilization in cattle fed tropical grass pastures with supplementation. Livestock Science, 162, 141-153.

Dewhurst, R. J., Davies, D. R., & Merry, R. J. (2000). Microbial protein supply from the rumen. Animal feed science and technology, 85(1-2), 1-21.

Duarte, C.F.D., Cecato, U., Hungria, M., Fernandes, H.J., Biserra, T.T., Galbeiro, S., & Da Silva, D.R. (2020). Morphogenetic and structural characteristics of Urochloa species under inoculation with plant-growth-promoting bacteria and nitrogen fertilisation. Crop and Pasture Science, 71(1), 82-89.

Euclides, V.P.B., Macedo, M.C.M., Oliveira, M.P. (1999). Avaliação de cultivares de *Panicum maximum* em pastejo. Anais... Reunião Anual Da Sociedade Brasileira De Zootecnia, 36., 1999, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: SBZ, 1 CD-ROM.

Euclides, V.P.B., Valle, C.B., Macedo, M.C.M., Almeida, R.G.D., Montagner, D.B., Barbosa, R.A. (2010) Brazilian scientific progress in pasture research during the first decade of XXI century. Revista Brasileira de Zootecnia, 39, 151–168.

Factori, M. A., Silva, P. C. G., Gonçalves, D. M., Neto, A. S. N. S., Maratti, C. H. Z., & Tiritan, C. S. (2017). Produtividade de massa de forragem e proteína bruta do capim mombaça irrigado em função da adubação nitrogenada. In Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215 (Vol. 13, No. 3, pp. 49-57).

Ferrari, A. C., Leite, R. G., Fonseca, N. V., Romanzini, E. P., Cardoso, A. D. S., Barbero, R. P., Costa, D. F.A., Ruggieri, A. C. & Reis, R. A. (2021). Performance, nutrient use, and methanogenesis of Nellore cattle on a continuous grazing system of Urochloa brizantha and fed supplement types varying on protein and energy sources. Livestock Science, 253, 104716.

Figueiras, J. F., Detmann, E., Paulino, M. F., Valente, T. N. P., Valadares Filho, S. D. C., & Lazzarini, I. (2010). Intake and digestibility in cattle under grazing supplemented with nitrogenous compounds during dry season. Revista Brasileira de Zootecnia, 39, 1303-1312.

Fonseca, N. V. B., da Silva Cardoso, A., Berça, A. S., Dornellas, I. A., Ongaratto, F., Silva, M. L. C., Ruggieri, A.C. & Reis, R. A. (2022). Effect of different nitrogen fertilizers on nitrogen efficiency use in Nellore bulls grazing on Marandu palisade grass. Livestock Science, 263, 105012.

Granja-Salcedo, Y. T., Ribeiro Junior, C. S., de Jesus, R. B., Gomez-Insuasti, A. S., Rivera, A. R., Messana, J. D., Canesin, R.C. & Berchielli, T. T. (2016). Effect of different levels of concentrate on ruminal microorganisms and rumen fermentation in Nellore steers. Archives of Animal Nutrition, 70(1), 17-32.

Greenwood, P.L.; Cafe, L.M.; Hearnshaw, H.; Hennessy, D.W. Consequences of nutrition and growth retardation early in life for growth and composition of cattle and eating quality of beef. RAAN Aus. 2015, 15, 183–195.

Hoffmann, A., Cardoso, A. S., Fonseca, N. V. B., Romanzini, E. P., Siniscalchi, D., Berndt, A., Ruggieri, A.C. & Reis, R. A. (2021). Effects of supplementation with corn distillers' dried grains on animal performance, nitrogen balance, and enteric CH4 emissions of young Nellore bulls fed a high-tropical forage diet. Animal, 15(3), 100155.

Horn, G.W., Mccollum, F.T. (1987). Energy supplementation of grazing ruminants. In: Grazing Livestock Nutrition Conference, 1., 1987, Jackson. Proceedings... Jackson: University of Wyoming, 125-136.

Huhtanen, P. (1987). The effects of intraruminal infusions of sucrose and xylose on nitrogen and fibre digestion in the rumen and intestines of cattle receiving diets of grass silage and barley. Agricultural and Food Science, 59(5), 405-424.

Jaguaribe, T.L., Soares, N., Rodrigues, P.R., Bellan, J., Paciullo, D., Morenz, M., Gomide, C.D.M. (2019). Estrutura do dossel, massa de forragem e produção de leite em pastagem de cultivares de Brachiaria sp. Anais... Workshop De Iniciação Científica Da Embrapa Gado De Leite, 23., Juiz de Fora. Anais... Juiz de Fora.

Koscheck, J. F. W., Romanzini, E. P., Barbero, R. P., Delevatti, L. M., Ferrari, A. C., Mulliniks, J. T., Mousquer, C. J., Berchielli, T. T., & Reis, R. A. (2020). How do animal performance and methane emissions vary with forage management intensification and supplementation?. Animal Production Science, 60(9), 1201-1209.

Lake, R. P., Hildebrand, R. L., Clanton, D. C. & Jones, L. E. (1974). Limited energy supplementation of yearling steers grazing irrigated pasture and subsequent feedlot performance. Journal of Animal Science, 39(5), 827-833.

Leite, R. G., Cardoso, A. D. S., Fonseca, N. V. B., Silva, M. L. C., Tedeschi, L. O., Delevatti, L. M., Rugiere, A. C.& Reis, R. A. (2021). Effects of nitrogen fertilization on protein and carbohydrate fractions of Marandu palisadegrass. Scientific Reports, 11(1), 1-8.

Leng, R. A. (1990). Factors affecting the utilization of 'poor-quality'forages by ruminants particularly under tropical conditions. Nutrition research reviews, 3(1), 277-303.

Mertens, D. (1994). Regulation of forage intake. Forage quality, evaluation, and utilization, 450-493.

Mertens, D.R., Grant, R.J. (2020). Digestibility, and intake. Forages: the science of grassland agriculture, 2, 609-631.

Minson, D. J. (1990). Forage in ruminant nutrition. San Diego: Academic Press, 483 p.

Moore, J. E. (1980). Forage crops. Crop quality, storage, and utilization, 61-91.

Moore, J. E. (1994). Forage quality indices: development and application. Forage quality, evaluation, and utilization, 967-998.

Moore, K. J. M., & Buxton, D. R. (2000). Fiber composition and digestion of warm-season grasses. Native warm-season grasses: Research trends and issues, 30, 23-33.

Mott, G. O. (1960). Grazing pressure and the measurement of pasture production. Grazing pressure and the measurement of pasture production.

Mott, G. & Moore, J.E. Forage evaluation techniques in perspective. In: National Conference on Forage Evaluation and Utilization. Nebraska Center of Continuing Education. Lincoln, Nebraska. p. 1-10, 1970.

Nave, R.L.G.; Sulc, R.M.; Barker, D.J. Relationships of forage nutritive value to cool-season grass canopy characteristics. Crop. Sci. 2013, 53, 341–348.

Oliveira, A. A. (2014). Manejo do pasto de capim marandu e suplementação com diferentes fontes de energia na recria de tourinhos Nelore. Tese (Zootecnia Produção Animal)) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho;CNPq. p. 59-60.

Paengkoum, P., Chen, S., & Paengkoum, S. (2019). Effects of crude protein and undegradable intake protein on growth performance, nutrient utilization, and rumen fermentation in growing Thai-indigenous beef cattle. Tropical animal health and production, 51, 1151-1159.

Paulino, M.F., Acedo, T.S., Sales, M.F.L., Figueiredo, D.M., Moraes, E.H.B.K. (2003). Suplementação como estratégia de manejo das pastagens. In: Reis, R.A., Bernardes, T.F., Siqueira, G.R., Moreira, A.L. (eds). Volumosos na produção de ruminantes, 1, 2003. Jaboticabal. Anais..., Jaboticabal, 87- 100.

Paulino, M.F., Detmann, E., Valente, E.E.L., Barros, L.V. (2008). Nutrição de bovinos em pastejo. In: Proceedings of the 4th Symposium on Strategic Management of Pasture, Viçosa, Brazil, 131-169.

Paulino, M. F., Figueiredo, D. D., Moraes, E. H. B. K., Porto, M. O., Sales, M. F., Acedo, T. S., Villela, S. D. J., & Valadares Filho, S. D. C. (2004). Suplementação de bovinos em pastagens: uma visão sistêmica. Simpósio de produção de gado de corte, 4(2004), 93-139.

Poppi, D. P., Hughes, T. P., & L'huillier, P. J. (1987). Intake of pasture by grazing ruminants. Livestock feeding on pasture. Hamilton: New Zealand Society of Animal Production, 7, 55-64.

Poppi, D. P., & McLennan, S. R. (1995). Protein and energy utilization by ruminants at pasture. Journal of animal science, 73(1), 278-290.

Poppi, D. P., Quigley, S. P., Silva, T. A. C. C. D., & McLennan, S. R. (2018). Challenges of beef cattle production from tropical pastures. Revista Brasileira de Zootecnia, 47:e20160419.

Reis, R.A., Oliveira, A.A., Siqueira, G.R., & Gatto, E. (2011). Semi-confinamento para produção intensiva de bovinos de corte. In: I Simpósio Matogrossense de bovinocultura de corte, 195-224.

Reis, R. A., Ruggieri, A. C., Oliveira, A. A., Azenha, M. V., & Casagrande, D. R. (2012). Suplementação como estratégia de produção de carne de qualidade em pastagens tropicais. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, 13, 642-655.

Reis, R. A., Ruggieri, A., Casagrande, D., & Gomes, A. (2009). Suplementação da dieta de bovinos de corte como estratégia do manejo das pastagens. Revista Brasileira de Zootecnia, 38, 147-159.

Renesto, D. M. (2021). Suplementação na fase de recria e os impactos durante a terminação de bovinos de corte. Tese (Zootecnia - Produção Animal) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. FAPESP.

Rooke, J. A., Lee, N. H., & Armstrong, D. G. (1987). The effects of intraruminal infusions of urea, casein, glucose syrup and a mixture of casein and glucose syrup on nitrogen digestion in the rumen of cattle receiving grass-silage diets. British Journal of Nutrition, 57(1), 89-98.

Ruggieri, A. C., Cardoso, A. D. S., Ongaratto, F., Casagrande, D. R., Barbero, R. P., Brito, L. D. F., Vieira, M.A. & Reis, R. A. (2020). Grazing Intensity impacts on herbage mass, sward structure, greenhouse gas emissions, and animal performance: analysis of brachiaria Pastureland. Agronomy, 10(11), 1750.

Santana, S. S., Brito, L. F., Azenha, M. V., Oliveira, A. A., Malheiros, E. B., Ruggieri, A. C., Reis, R. A**.** (2017)**.** Canopy characteristics and tillering dynamics of Marandu palisade grass pastures in the rainy-dry transition season. Grass and Forage Science, 72, 261 - 270.

Santos, E. R., Carvalho, B. R., Rodrigues, P. M., Basso, K. C., & de Carvalho, A. N. (2018). Características estruturais do capim-marandu diferido com alturas e doses de nitrogênio variáveis. Archivos de zootecnia, 67(259), 420-426.

Santos, F. P., Dorea, J. R., Costa, D. F. A., De Souza, J., & Batistel, F. (2014). Forage management and methods to improve nutrient intake in grazing cattle. p. 144-165.

Simioni, T. A., Messana, J. D., Silva, L. G., Granja-Salcedo, Y. T., Torrecilhas, J. A., San Vito, E., Lage, J.F., Reis, R.A., & Berchielli, T. T. (2022). Effects of mineral or protein-energy

supplementation and genetic group on metabolism parameters of young beef bulls grazing tropical grass during the rainy season. Livestock Science, 255, 104805.

Lazzarini, I., Detmann, E., Sampaio, C. B., Paulino, M. F., Valadares Filho, S. D. C., Souza, M. A. D., & Oliveira, F. A. (2009). Intake and digestibility in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. Revista Brasileira de Zootecnia, 38, 2021-2030.

Sollenberger, L. E., Moore, J. E., Allen, V. G., & Pedreira, C. G. (2005). Reporting forage allowance in grazing experiments. Crop Science, 45(3), 896-900.

Sollenberger, L. E., & Vanzant, E. S. (2011). Interrelationships among forage nutritive value and quantity and individual animal performance. Crop Science, 51(2), 420-432.

Teobaldo, R. W., Cardoso, A. S., Brito, T. R., Leite, R. G., Romanzini, E. P., Granja-Salcedo, Y.T., Reis, R. A**.** (2022). Response of phytogenic additives on enteric methane emissions and animal performance of Nellore bulls raised in grassland. Sustainability, 14(15), 9395.

Valadares Filho, S., Silva, F. A. Z., Benedeti, P. D. B., Paulino, M. F., Chizzotti, M. L. Nutrient requirements of beef cattle in tropical climates. EAAP Scientific Series. 2019. p. 504.

Van Soest, P. J. (1994). Nutritional Ecology of the Ruminant by Peter J. Van Soest.

Vieira, B. R., Azenha, M. V., Casagrande, D. R., Costa, D. F. A., Ruggieri, A. C., Berchielli, T. T., & Reis, R. A. (2016). Ingestive behavior of supplemented Nellore heifers grazing palisadegrass pastures managed with different sward heights. Animal Science Journal, 88(4), 696-704.

Waterman, R. C., Sawyer, J. E., Mathis, C. P., Hawkins, D. E., Donart, G. B., & Petersen, M. K. (2006). Effects of supplements that contain increasing amounts of metabolizable protein with or without Ca-propionate salt on postpartum interval and nutrient partitioning in young beef cows. Journal of animal science, 84(2), 433-446.

Wedekin, I., Pinazza, L. A., Lemos, F. K., & Vivo, V. (2017). Economia da pecuária de corte: fundamentos e o ciclo de preços. São Paulo: Wedekin Consultores, p. 180.

Zhou, C., Chen, L., Tan, Z., Tang, S., Han, X., Wang, M., Kang, Y., & Yan, Q. (2015). Effects of the dietary ratio of ruminal degraded to undegraded protein and feed intake on intestinal flows of endogenous nitrogen and amino acids in goats. Archives of animal nutrition, 69(6), 442-454.

11

Serviços Ecossistêmicos em Pastagens Tropicais

José Carlos Batista Dubeux Junior[1]
Igor Lima Bretas[1]
David Mirabedini Jaramillo[2]
Dayanne Camelo[3]
Luana Mayara Dantas Queiroz[1]
Bruno Grossi Homem[4]

Introdução

Um ecossistema pode ser definido como um complexo dinâmico entre comunidades de plantas, animais, microrganismos e seu ambiente não-vivo, interagindo em equilíbrio. As pastagens estão entre os principais ecossistemas globais, ocupando cerca de um terço da superfície terrestre e 70% das terras agricultáveis do planeta (Reinermann et al., 2020). Nos trópicos, pastagens representam a fonte basal de alimentos para produção de ruminantes, sendo cruciais para sustentabilidade da atividade pecuária. Além da importância como fonte de alimentos, as pastagens tropicais desempenham diferentes tipos de serviços ecossistêmicos.

Serviços ecossistêmicos de pastagens representam os benefícios providos por esses ecossistemas ao ser humano, incluindo produtos, recursos e fatores

[1] University of Florida – North Florida Research and Education Center, Marianna, FL, USA.
[2] US. Dairy Forage Research Center, USDA-ARS, 2615 Yellowstone Dr., Marshfield, WI 54449, USA
[3] Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco.
[4] Embrapa Agrobiologia, Seropédica, Rio de Janeiro.

ambientais necessários para sobrevivência e bem-estar (Zhao et al., 2020). Os serviços ecossistêmicos podem ser divididos em quatro classes: serviços provisionais, regulatórios, de suporte e culturais. No caso de pastagens, os serviços provisionais incluem, entre outros, a geração de produto animal, fibra, madeira e produtos medicinais. Os serviços regulatórios incluem a regulação climática (e.g. sequestro de carbono), controle de erosões, controle de plantas daninhas, qualidade da água e habitat para polinizadores e animais selvagens. Os principais serviços de suporte podem ser enumerados como fonte de produção primária, ciclagem de nutrientes, fixação biológica de nitrogênio, e captação de água. Já os serviços culturais envolvem parques recreativos, áreas de caça, e atividades educacionais (Zhao et al., 2020; Dubeux et., 2022).

O presente capítulo visa detalhar cada umas das diferentes classes de serviços ecossistêmicos desempenhados por pastagens tropicais, bem como elencar os possíveis mecanismos de pagamento por serviços ecossistêmicos, como forma de incentivo à produção sustentável em sistemas agropecuários.

Serviços Provisionais

Os serviços ecossistêmicos provisionais incluem uma ampla variedade de produtos obtidos a partir de determinado ecossistema. As pastagens tropicais, apesar da sazonalidade de produção, permitem períodos mais longos de produção de forragem ao longo do ano, em comparação com as de regiões de clima temperado, favorecendo também o provimento de serviços ecossistêmicos.

Produto Animal

Pastagens tropicais são destinadas principalmente à atividade pecuária. Produtos de origem animal como carne e leite são os principais alimentos obtidos a partir do ecossistema de pastagem. Além disso, animais prestam serviços adicionais aos sistemas agropecuários.

O uso de animais como potência de tração é comum na agricultura há milhares de anos. Em regiões subdesenvolvidas, animais de tração continuam sendo uma fonte importante de energia. A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) estimou que animais de tração e seres humanos fornecem pelo menos 65% da entrada de energia em países em desenvolvimento (Bongaarts, 2003). Em 2030, espera-se que este número seja reduzido para cerca

de 45% (Bongaarts, 2003). Animais de tração podem ser usados para uma ampla variedade de finalidades, que incluem arraste de implementos agrícolas, transporte de forragem e cargas e outros alimentos (Ramaswamy, 1998; Spugnoli e Dainelli, 2013).

Fibras

As fibras oriunda de animais de produção incluem um importante produto adicional obtido a partir das pastagens. Estes produtos, incluem lã, cabelo/pelagem ou peles. A produção de cada elemento pode variar entre regiões. Na América do Sul, por exemplo, ovelhas são comumente encontradas em pastagens temperadas e desertos, Cabras são comuns no nordeste do continente e Camelídeos são encontrados ao longo da região central dos Andes (Cardellino e Mueller, 2009). A lã representa a principal fibra de origem animal produzida na América do Sul, mas outras fibras como as obtidas de Alpaca, Lhama e Mohair, também são produzidas em grande quantidade (Cardellino e Mueller, 2009). Vicunha, Guanaco e Angorá (produzido a partir de Coelhos), seda e caxemira também são fibras encontradas em determinadas regiões tropicais e têm importância nas economias locais, embora a produção seja localizada em pequenas escalas (Cardellino e Mueller, 2009).

Madeira

O carvão e a lenha desempenham papéis importantes no sustento das pessoas, principalmente como fonte de combustível para cozinhar. Além disso, é importante considerar a demanda industrial e comercial por carvão e lenha (Braimoh, 2006). Nos sistemas de pastagem, a inclusão de árvores pode ser uma opção atrativa para prover sombra ao gado ao mesmo tempo em que atua como fonte adicional de renda para os proprietários de terras por meio da produção de carvão. Outros sistemas de produção, incluindo a silvicultura, incluem o uso de espécies arbóreas em conjunto com gramíneas forrageiras para criação de animais e produção de madeira em mesma área, com sucesso observado com uso de eucalipto em várias regiões (Bichel e Telles, 2021). Em todo o mundo e em regiões tropicais, o uso de lenha e carvão varia de acordo com o clima, as práticas culturais e o status socioeconômico de uma população. O Brasil, por exemplo, produz um terço do carvão mundial, e a maioria é produzida principalmente por métodos artesanais tradicionais (Bichel e Telles, 2021).

Produtos medicinais

Com a alta biodiversidade de espécies nos trópicos, as pradarias tropicais fornecem habitat para inúmeras plantas que contêm metabólitos secundários e outros compostos que tornam a planta útil para fins medicinais ou veterinários. Um desses exemplos é a *Bidens pilosa* L., também conhecida como "Picão Preto" (Santos e Cury, 2011). Esta planta pode ser encontrada em grande parte das regiões tropicais do mundo. Os nativos da Amazônia usam *B. pilosa* para tratamento de doenças relacionadas ao fígado, tratamento de malária, diabetes, distúrbios menstruais, entre outros. Muitas vezes essas plantas são consideradas ervas daninhas ou espécies indesejáveis, mas avaliações adicionais indicam que elas podem servir a outros propósitos e serem úteis para fins medicinais.

Água

A qualidade das águas subterrâneas é diretamente afetada pela interferência humana no sistema hidrológico, o que é especialmente crítico em ecossistemas de pastagens ou na agricultura em geral. As águas subterrâneas são uma fonte essencial de água para consumo e irrigação, e a qualidade e quantidade dessas águas são altamente afetadas pelo solo por onde fluem (Keesstra et al., 2012). A filtragem da água é uma das funções mais importantes dos solos, especialmente porque a água é um recurso vital. Por exemplo, a poluição dos rios por metais pesados e outros herbicidas pode ter impactos negativos na saúde humana por meio do contato direto, consumo de água, peixes contaminados ou uso de produtos agrícolas aplicados com uso de água contaminada (Machado et al., 2016). No contexto das pastagens tropicais, esses efeitos adversos são frequentemente o resultado do uso inadequado de herbicidas e fertilizantes, onde o pasto é o principal receptor dessas substâncias e os corpos d'água adjacentes são os receptores finais desses compostos (Damalas e Eleftherohorinos, 2011).

Manter a cobertura vegetal é uma das práticas mais importantes para reduzir o movimento de nutrientes das pastagens para rios, lagos ou outros corpos d'água (Cast, 2002). Os sistemas de raízes profundas das gramíneas perenes podem capturar nutrientes que seriam lixiviados (Dubeux Junior et al., 2022). Em sistemas de pastejo, a altura do pasto, os processos erosivos do solo, a inclinação da superfície e a umidade do solo são fatores adicionais que contribuem para perdas de nutrientes e sedimentos (Haan et al., 2006). O manejo do pastejo tem impacto direto na cobertura do solo,

sendo a intensidade do pastejo fator crítico para controle da qualidade da água em sistemas de pastejo (Sollenberger et al., 2019).

Serviços de Suporte

Ciclagem de nutrientes

De maneira geral, os nutrientes retornam ao solo em maior proporção pelo processo de deposição e decomposição da liteira e pelas excretas dos animais. A serapilheira é a rota de ciclagem mais relevante para manutenção da produtividade das pastagens (Rezende et al., 1999). Características como quantidade e qualidade da serapilheira depositada na superfície do solo influenciam diretamente nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Dubeux Junior et al., 2006). A dinâmica da deposição de tecidos senescentes em pastagens é regulada, majoritariamente, por fatores ambientais, fornecimento de nutrientes e manejo do pastejo (Kohmann et al., 2018). Vale ressaltar que a serapilheira existente proporciona diversas características benéficas para o solo, como o favorecimento da retenção de água, controle da temperatura, redução da erosão, manutenção da microbiota e da fertilidade do solo (Boddey et al., 2004).

A disponibilidade de nutrientes ou mineralização da serapilheira dependerá da quantidade, composição química e taxa de decomposição do material depositado. A qualidade da serapilheira é influenciada pela composição botânica do pasto, estágio de desenvolvimento da planta, fertilidade do solo e uso de adubos (Dubeux Junior et al., 2007). O C e o N estão presentes em componentes estruturais das plantas, alguns com maior propensão à degradação (lábeis) e outros de caráter recalcitrante. A relação dessas moléculas influenciará diretamente na taxa de decomposição, que por sua vez, determinará a velocidade com que os nutrientes retornarão ao sistema (Cotrufo et al., 2015). Um dos indicadores mais usados para determinação da qualidade da serapilheira é a relação C/N. Quando superior a 30 ocorre uma tendência de imobilização de nutrientes, enquanto abaixo desse valor a mineralização e disponibilidade será favorecida (Dubeux Junior et al., 2007). Em pastagens formadas por monocultura de gramíneas C_4, a relação C/N no material depositado é alta, sendo mais difícil de ser decomposto. A presença de moléculas recalcitrantes como lignina, celulose e hemicelulose, aliadas a elevadas relações C/N, contribuem significativamente para imobilização de N no do solo, podendo ser um dos principais motivos para degradação de pastagens (Sollenberger et al., 2019).

As forrageiras em um ambiente de pastagem retiram nutrientes do solo que possibilitam seu desenvolvimento. Os animais consomem a parte aérea dessas plantas para suprir sua demanda nutricional e a maior parte dos nutrientes será excretada via fezes e urina. Uma fração desse material não selecionada ou remanescente após o pastejo irá senescer e será depositada na superfície do solo. Essas duas vias de ciclagem de nutrientes possuem atributos próprios que definem a sua eficiência (Boddey et al., 2004). A senescência dos tecidos vegetais ocorre de maneira mais lenta e homogênea (Dubeux Junior et al., 2006). Os nutrientes contidos na serapilheira não estão disponíveis em primeiro momento, assim microrganismos precisam mineralizar esse material, possibilitando a disponibilização desses elementos no solo (Chapman et al., 2013).

As excretas animais disponibilizam nutrientes mais rapidamente no solo, tornando maior a probabilidade de perda por volatilização ou lixiviação, uma vez que as excretas são depositadas com alta contração de nutrientes em pequenas áreas (Dubeux Junior et al., 2007). Em geral, a maioria das excretas são depositadas próximos à bebedouros ou em áreas de malhadouro. Nesses locais, pelo intenso pisoteio, o meristema apical das forrageiras é severamente danificado, prejudicando o crescimento das plantas. Dessa maneira, grande parte dos nutrientes fornecidos através das excretas animais não serão aproveitados pela pastagem (Sollenberger et al., 2019).

Formação do solo

Solos sob pastagens bem manejadas têm apresentado características que indicam boa qualidade, como uso eficiente de nutrientes, baixa suscetibilidade à erosão, menor escoamento superficial de água e maior taxa de infiltração, maior atividade biológica, boa estruturação do solo, redução de salinidade e grandes concentrações de matéria orgânica. Porém, quando as pastagens não são bem manejadas ficam suscetíveis à degradação (Boddey et al., 2004). Assim, as características das plantas forrageiras que afetam os indicadores de saúde do solo incluem a quantidade e composição dos exsudados das raízes (Chaparro et al., 2012), a morfologia das raízes (Miller e Jastrow, 1990), a produtividade (Zak et al., 2003) e a qualidade da serapilheira depositada pela planta (Boddey et al., 2004).

Produtividade primária

A produtividade primária líquida é definida como a diferença entre a fotossíntese e a respiração autotrófica da vegetação, por unidade de tempo e espaço (Imhoff et al., 2004). É também conceituada como a quantidade de energia solar, convertida pelas plantas, em matéria orgânica pela fotossíntese (Xuet al., 2020). Através do processo de fotossíntese, as plantas assimilam carbono da atmosfera, inserindo-o na sua biomassa e liberam parte do mesmo para a atmosfera quando respiram. Assim, a fotossíntese e a respiração são os dois processos mais importantes no ciclo biogeoquímico do carbono e do balanço entre ambos, derivando a produção dos vegetais e o fluxo de energia nos ecossistemas (Cole et al., 2021).

A produtividade primária líquida é o principal indicador de "saúde" de uma pastagem, sendo de grande importância para o equilíbrio ecológico mundial. As pastagens cobrem cerca de dois terços de toda a área agricultável do globo terrestre. No Brasil, elas ocupam cerca de três quartos da área agrícola nacional, ou seja, cerca de 165 milhões de hectares de pastagens cultivadas. Assim, a acumulação de carbono pelas forrageiras proporciona a energia que alimenta muitos processos bióticos no planeta, tais como os herbívoros e a diversidade de organismos presentes em uma determinada zona ecoclimática (Porter et al., 1985; Potter et al., 2003).

Ciclo da água

O ciclo da água é o movimento interminável da água das nuvens para o solo, através das plantas e novamente para as nuvens (Godoy et al., 2021). Influenciar as partes do ciclo que afetam as pastagens é importante no manejo da mesma. O ciclo começa quando a precipitação atinge a terra e termina quando a água deixa a pastagem, seja por escoamento ou evapotranspiração (Gentine et al., 2019). Durante este período deve-se armazenar o máximo de água possível no solo para utilização na produção de forragem.

Um ciclo hídrico mais sustentável e produtivo é o resultado de um manejo adequado do pastejo que aumenta a cobertura do solo e o vigor das plantas, além de reduzir a erosão do solo. As plantas e a serapilheira produzida afetam o ciclo da água de várias maneiras. Elas quebram o impacto das gotas de chuva na superfície do solo. A serapilheira atua como uma esponja e retarda o escoamento, resultando em melhor taxa de infiltração. As raízes das forrageiras aumentam a porosidade do solo, de modo que a água se mova mais facilmente para dentro e através do solo. As raízes também mantêm os agregados do solo e reduzem a erosão. Uma pastagem

com cobertura vegetal vigorosa é uma parte importante para influenciar o ciclo da água e fazer uso eficaz da água de chuva (Anderson e French, 2019).

Serviços Regulatórios

Regulação do clima

Parte dos serviços ecossistêmicos providos por pastagens estão associados à regulação climática por meio da diminuição das emissões de gases de efeito estufa e aumento dos estoques de carbono no solo (Buckingham et al., 2013). Cerca de 34% do C terrestre global é armazenado em pastagens e em média 89% do C sequestrado pelo pasto é armazenado no solo (Ajtay et al., 1979; White et al., 2000).

As principais formas de entrada de C no ecossistema de pastagens são por meio das plantas que ao senescerem adicionam matéria orgânica, tanto acima quanto abaixo do solo, e por meio dos animais que ao se alimentarem contribuem com a ciclagem de nutrientes via deposição de excretas (Rumpel et al., 2018). O solo sob pastagens tropicais possui maior potencial de armazenamento de C e N do que outros ecossistemas ou pastagens de clima temperado, devido as temperaturas mais altas e maior atividade microbiana após períodos chuvosos (Cárdenas et al., 2019). O potencial global médio para armazenamento de C nas pastagens é de 7 Mg ha^{-1} ano^{-1}, dependendo do local, idade e sistema de manejo empregado (Montagnini et al., 2013).

Recentemente, Lira Junior et al. (2020) comprovaram que pastagens mistas (gramíneas consorciadas com leguminosas) elevam o armazenamento de C e N no solo. Isso se deve à deposição de serrapilheira das leguminosas que se decompõem mais rapidamente, comparada à de gramíneas (Apolinário et al., 2015). O aumento na taxa de decomposição pode levar ao aumento das proporções de ácido fúlvico na matéria orgânica do solo. O ácido fúlvico possui maior mobilidade no solo que as outras frações da matéria orgânica e, portanto, maior contribuição para os estoques de C e N do solo em um curto intervalo de tempo (Assunção et al., 2019). Outro fator importante é o desenvolvimento perene e constante renovação do sistema radicular de forrageiras tropicais (Luna et al., 2019), o que também favorece o acúmulo de matéria orgânica (Figura 1).

A idade do pasto também interfere no armazenamento de C. Em geral, à medida que o tempo passa, maior é o estoque de C no solo (Vertès e Mary, 2014; Johnston et al., 2017). Nos três primeiros anos, a pastagem armazena C principalmente

na camada superficial (Whitehead et al., 1990), com subsequente armazenamento em camadas mais profundas do solo (Rumpel et al., 2018).

Com relação ao manejo de pastagens, a pressão de pastejo também é um fator de impacto no armazenamento de C no solo. Eze et al. (2018) demonstraram que a alta pressão de pastejo resulta em uma redução de 27,1% no estoque de C do solo. Isso pode ser atribuído principalmente à remoção excessiva de vegetação e, consequentemente, ao menor retorno de serapilheira ao solo (Steffens et al., 2008). A alta pressão de pastejo também pode trazer prejuízos ao solo devido ao efeito de compactação pelo pisoteio (Marshall et al., 2014) ou à maior exposição do solo à precipitação e ao vento, favorecendo processos erosivos (Tanentzap e Coomes, 2012).

Além disso, uma proporção significativa da vegetação removida pelo animal é subsequentemente perdida do ecossistema através da respiração animal, emissão de metano e exportação de produtos como carne e leite. Uma vaca leiteira em pastejo excreta cerca de 34% do C consumido via fezes e 70% do N consumido via urina (Vertès et al., 2018). No entanto, a deposição de excretas nem sempre implica em um aumento na concentração de C no solo. Excretas contêm substratos prontamente utilizáveis que estimulam atividades microbianas do solo em pastagens (Clegg, 2006), podendo levar a uma rápida decomposição de compostos orgânicos e perda de C do solo (Medina-Roldan et al., 2012).

Adicionalmente, há uma tendência de remoção dos meristemas das plantas sob alta pressão de pastejo, levando à uma redução na capacidade de crescimento das mesmas (Mestdagh et al., 2006; Clay e Worall, 2013). Isso reduz a produtividade do pasto e o potencial de incremento de C no solo. Assim, cada vez mais tem se recomendado um pastejo leve a moderado, por favorecer a ciclagem de nutrientes, o processo de rebrota da planta e a cobertura do solo (Soussana et al., 2010; Abdalla et al., 2018; Hewins et al., 2018).

Na Figura 1 são apresentados os principais serviços regulatórios prestados pelas pastagens tropicais, bem como fatores que influenciam tais serviços.

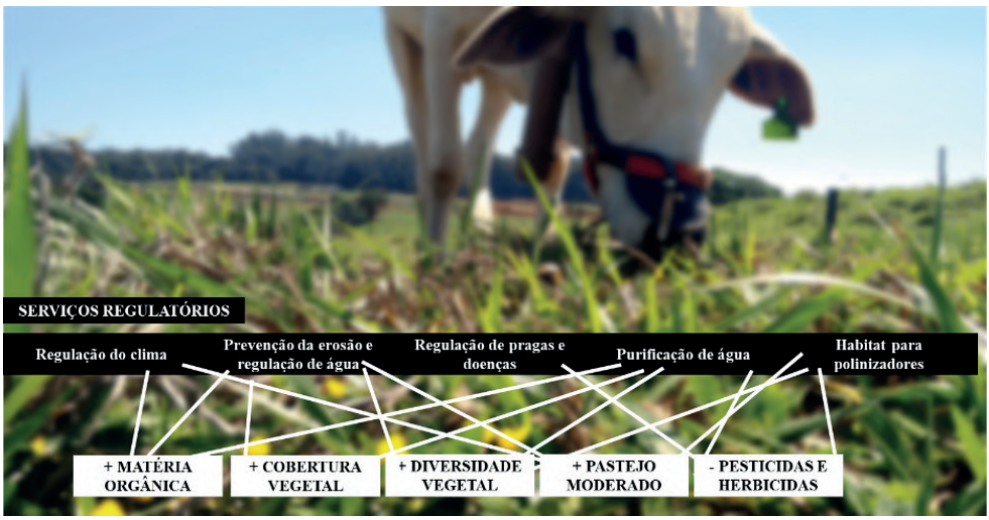

Figura 1. Serviços regulatórios (quadrado preto) prestados pelas pastagens e os principais fatores (quadrado branco) que influenciam tais serviços.

Prevenção da erosão e regulação de água

A erosão do solo é a remoção da camada superior do solo por vários agentes, como a água e o vento. Tal processo pode reduzir a produtividade, resultando em prejuízo econômico, uma vez que ao perder partículas de solo também se perde nutrientes essenciais (e.g. N, P, K). Danos ambientais, como a poluição do lençol freático também podem ser ocasionados (Issaka e Ashraf, 2017).

A Pesquisa Global de Avaliação da Degradação do Solo informou que a erosão do solo é atualmente a forma universal de degradação da terra, representando 84% de toda a terra degradada (Lal, 2017). Esse tópico tem chamado atenção, pois o aquecimento global induz a erosão do solo, especialmente em áreas tropicais (Ma et al., 2021).

A prevenção da erosão do solo pelas pastagens está fortemente associada a outros serviços como abastecimento e regulação da água, sequestro de carbono e fertilidade do solo (Pilgrim et al., 2010, Hou et al., 2017). As pastagens protegem o solo da erosão hídrica e eólica de diferentes formas (Franzluebbers et al., 2014). As plantas cobrem a superfície do solo, diminuindo a evaporação da água. Além disso, as plantas interceptam a água da chuva pelo dossel, o que diminui o impacto sobre as partículas do solo, ajudando a reduzir o escoamento superficial em 20% ou mais

(Macleod e Ferrier, 2011; Peri et al., 2016). O sistema radicular também ajuda a manter a estabilidade do solo e a diminuir as perdas de partículas.

As pastagens, quando comparadas às áreas cultivadas com culturas anuais de grãos, são capazes de reduzir a perda de nutrientes devido à maior cobertura da superfície do solo (Figura 1). Esses resultados foram encontrados por Adimassu et al. (2020), onde a pastagem reduziu a perda de solo em 48% e também reduziu significativamente as perdas de nutrientes, como N (32,8 vs. 47,8 kg ha^{-1} ano^{-1}), P (0,39 vs. 0,59 kg ha^{-1} ano^{-1}) e K (0,23 vs. 1,84 kg ha^{-1} ano^{-1}), em comparação com o cultivo de Cevada.

As pastagens possuem um sistema eficaz de captação de água devido à maior taxa de infiltração, menor erosão e alta eficiência do uso da água das plantas (Cadman et al., 2013; Volaire et al., 2014). Vale lembrar que o armazenamento de água também depende da textura do solo (Macleod e Ferrier, 2011). Um estudo realizado em uma pastagem com 10 anos de implantação, concluiu que o aumento da área foliar pode diminuir a evaporação devido ao sombreamento e melhorar a eficiência do uso da água, o que aumenta o teor de água no solo, principalmente na camada superficial (Fischer et al., 2018).

Como mencionado no tópico anterior, as pastagens aumentam o teor de matéria orgânica no solo, devido à constante deposição de serapilheira, raízes e excretas (Franzluebbers e Gastal, 2018). A matéria orgânica melhora a estrutura do solo, por aumentar a agregação, estabilidade e porosidade. Esses fatores resultam em uma menor erosão e maior infiltração e retenção de água no solo (Obour et al., 2018). Assim, estudos sugerem a adoção de sistemas de pastagens com o intuito de conservar a capacidade de retenção de água e aumentar o abastecimento de água (Pan et al., 2015).

Regulação de pragas e doenças

As pastagens são habitats-chave para muitas espécies, por fornecerem alimento, hospedeiros, refúgios de perturbações e locais para a reprodução (Veres et al., 2013; Sarthou et al., 2014). Por exemplo, nas pastagens ocorre o aumento de insetos predados por anfíbios, répteis e pássaros (Cox et al., 2014; Bucher et al., 2016). Muitos desses insetos são inimigos naturais, o que permite o controle de pragas e doenças (Bengtsson et al., 2019).

Muitos estudos comprovam que as pastagens aumentam a abundância de inimigos naturais e reduzem a abundância de pragas (Alignier et al., 2014; Koh e

Holland, 2015; Petit et al., 2017). Esse é um importante serviço ecossistêmico, devido à manutenção da produtividade com redução dos custos com pesticidas (Lechenet et al., 2016; Ali et al., 2018; Huang et al., 2018) (Figura 1).

Uma alternativa de manejo para potencializar esse serviço é a diversificação no espaço (por exemplo, sistemas integrados) e no tempo (por exemplo, rotação de culturas). Tal modificação no ambiente, promove condições desfavoráveis para o crescimento das pragas impedindo sua sobrevivência (Muneret et al., 2018; Adhikari e Menalled, 2020).

As pastagens também auxiliam na redução de plantas daninhas, isso é ocasionado pela ausência de preparo do solo, perturbações causadas pelo pastejo e pela presença da cobertura morta que suprime o aparecimento de plantas daninhas e reduz o banco de sementes do solo (Meiss et al., 2010; Doisy et al., 2014). Além disso, a própria competição por espaço, água e nutrientes também ajudam a suprimir o aparecimento de plantas daninhas. Outros estudos indicam a presença de compostos alelopáticos liberados pelas plantas forrageiras, inibindo o crescimento de plantas daninhas (Serajchi et al., 2017).

O consórcio de gramíneas e leguminosas, bem como a diversidade de espécies, também podem auxiliar na redução de plantas invasoras devido às diferentes dinâmicas de crescimento que proporcionam maior cobertura espacial e temporal do solo (Helgadóttir et al., 2018; Hayes et al., 2018).

O controle estratégico de plantas daninhas por meio do estabelecimento e manejo adequado de pastagens permite a redução dos custos com herbicidas (Lechenet et al., 2017). Tal redução foi observada em um estudo de 12 anos, onde a abundância de ervas daninhas durante a colheita de milho e trigo foi em média cerca de três vezes maior do que em pastagens (Schuster et al., 2019).

Purificação de água

As pastagens também desempenham um papel crucial na melhoria da qualidade da água. Os sistemas radiculares de gramíneas e leguminosas atuam como filtro, por reter e absorver os nutrientes, como nitrogênio e fósforo do solo, reduzindo assim sua disponibilidade para lixiviação ou escoamento superficial, minimizando o risco de poluição de nutrientes nos sistemas hídricos (Gikas et al., 2016). Já a cobertura vegetal das forrageiras atua como barreira física, por diminuir a velocidade do fluxo de água, reter os sedimentos e controlar a erosão, melhorando assim a clareza da água (Oliveira et al., 2019).

Como mencionado anteriormente, pastagens bem manejadas permitem a redução de produtos químicos, como por exemplo, pesticidas e herbicidas (Figura 1). No entanto, quando necessário utilizá-los, a matéria orgânica presente em maior quantidade no solo sob pastagens consegue reter e imobilizar tais poluentes (Zhu et al., 2020). Os microrganismos do solo são responsáveis pela degradação e transformação de poluentes, reduzindo suas concentrações na água (Mishra et al., 2021).

Práticas de manejo como ajustes da taxa de lotação também afetam a qualidade da água. Estudos recentes recomendam a intensidade de pastejo moderada por manter um equilíbrio entre a cobertura vegetal, a absorção de nutrientes e a retenção de sedimentos, resultando em melhor qualidade da água (Amorim et al., 2020). Esse estudo fornece evidências da importância do manejo adequado do pasto para maximizar o potencial de purificação da água. Por outro lado, o superpastejo promove a compactação do solo, redução da cobertura vegetal e aumento da erosão, resultando em degradação da qualidade da água.

Os sistemas integrados por possuírem maior diversidade vegetal, são alternativas para melhoria da qualidade da água. A maior biomassa radicular presente nesses sistemas melhora a estrutura, agregação e infiltração do solo, reduzindo a erosão e o transporte de sedimentos, o que afeta positivamente a clareza e a qualidade da água. Além disso, pode haver aumento na capacidade de extrair nutrientes, reduzindo o risco de escoamento de nutrientes para os corpos d'água (Oliveira et al., 2019).

A inclusão de leguminosas em pastagens, tanto em monocultivo ou consorciado, pode ter um impacto positivo na qualidade da água. As leguminosas se associam com bactérias diazotróficas, o que permite a conversão do nitrogênio atmosférico em formas disponíveis para as plantas. Dessa forma, ocorre a redução do uso de fertilizantes nitrogenados, reduzindo o risco de lixiviação de nitrogênio e subsequente poluição da água (Anglade et al., 2015).

Por fim, práticas inadequadas de aplicação e uso excessivo de produtos químicos, como por exemplo, fertilizantes, herbicidas e pesticidas, podem resultar em escoamento de nutrientes, lixiviação de pesticidas e contaminação de corpos d'água. Estudo feito por Amorim et al. (2020) demonstra que pastagens bem manejadas podem superar os cultivos agrícolas em relação à retenção de nutrientes e redução de sedimentos. Assim, se torna cada vez mais necessário a adoção de técnicas de precisão para o manejo de pastagens.

Habitat para polinizadores

Os polinizadores, tais como abelhas, borboletas, mariposas e outros insetos, são vitais para a manutenção da biodiversidade vegetal e estabilidade do ecossistema (Costanza et al., 2017). No entanto, nos últimos anos, houve um declínio significativo nas populações de polinizadores em todo o mundo. Estudos afirmam que 40% das espécies de insetos do mundo estão ameaçadas de extinção (Hallmann et al., 2017; Habel et al., 2019). Inúmeros fatores contribuíram para esse declínio, como perda de habitat, exposição a pesticidas, mudanças climáticas, patógenos e espécies invasoras (Garibaldi et al., 2011). A perda de polinizadores representa uma ameaça para todos os ecossistemas, pois afeta o rendimento e a estabilidade das culturas (Diaz et al., 2019).

As pastagens tropicais abrigam uma rica diversidade de polinizadores, contribuindo para o funcionamento ecológico e sucesso reprodutivo de inúmeras espécies de plantas (Weiner et al., 2011). O ecossistema de pastagens contém uma grande variedade de gramíneas, leguminosas e cactáceas, oferecendo uma fonte de alimento abundante e variada para os polinizadores (Figura 1). Essas espécies florescem em diferentes períodos do ano, disponibilizando néctar e pólen, garantindo um suprimento contínuo de nutrição para várias espécies de polinizadores. No entanto, as mudanças climáticas têm modificado a temperatura e precipitação, modificando também a fenologia das plantas. Essas alterações podem influenciar a abundância e distribuição dos visitantes florais (Brown et al., 2009).

A composição floral diversificada em pastagens suporta uma ampla gama de polinizadores com diferentes preferências alimentares. Em contrapartida, a perda de uma espécie polinizadora pode reduzir ou mesmo extinguir espécies vegetais. Essa especificidade foi observada em diferentes trabalhos. A *Apis melífera* foi a principal visitante floral em genótipos de Palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*; Cunha, 2021). Já a *Exomalopsis auropilosa* foi a principal visitante floral de espécies de *Stylosanthes* (Diniz, 2020). Na *Clitoria ternatea* destacaram-se como visitantes florais dez espécies, sendo seis da família *Apidae* (*Apis mellifera*, *Euglossa* sp., *Exomalopsis* sp., *Melipona* sp., *Trigona spinipes* e *Xylocopa* spp.), três da família *Nymphalidae* (*Danaus* sp., *Hermeuptychia* sp. e *Phoebis* sp.) e uma da família *Hesperiidae* (*Lerema* sp.; Mota, 2022).

A diversidade vegetal encontrada nas pastagens também oferece uma variedade de potenciais habitats para visitante florais. Esses habitats servem como proteção contra condições climáticas adversas e predadores, contribuindo para sua sobrevivência e reprodução (Savage et al., 2021). Outro fator que torna as pastagens

um ambiente favorável para polinizadores é a menor exposição a produtos químicos (pesticida e herbicidas), pois isso reduz o risco de toxicidade e de mortalidade (Diekötter et al., 2010).

O pastejo pode afetar os polinizadores de acordo com a intensidade do pastejo e seletividade (Ågren et al., 2013; Kimoto et al., 2012; Tadey, 2015). A alta pressão de pastejo pode ser capaz de diminuir a cobertura e diversidade vegetal, resultando em impactos na abundância e diversidade de polinizadores (Yoshihara et al., 2008; Potts et al., 2009). No entanto, o pastejo moderado pode aumentar a diversidade de polinizadores e a complexidade das redes de polinizadores (Vanbergen et al., 2014; Lázaro et al., 2016).

Serviços Culturais

Serviços ecossistêmicos culturais (SEC) podem ser definidos como benefícios não materiais obtidos por seres humanos através do ecossistema pelo enriquecimento espiritual, reflexão, desenvolvimento cognitivo, experiencias estéticas e recreação (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). As categorias dentro dos SEC sofreram uma evolução significativa desde suas classificações originais que à princípio eram apenas recreação e cultura (Hernandez-Morcillo et al., 2013). Dessa maneira, novas categorias como sensação de lugar, inspiracional, educacional, estética, espiritual e religiosa foram levadas em consideração (Tabela 1). Diversas áreas do conhecimento como sociologia, educação, antropologia, medicina, música, arquitetura, economia e ciências ambientais estão envolvidas e têm documentado benefícios derivados dos SEC nos últimos 30 anos a nível global (Egoh et al., 2012; Jax et al., 2013; Russel et al., 2013; Sagie et al., 2013; Coscieme, 2015; Munk, 2015; Pastur et al., 2016; Schirpke et al., 2018; Leal Filho et al., 2021).

Tabela 1. Categorias e definições dentro dos serviços ecossistêmicos culturais

Categoria	Definição
Estética/ Paisagismo	Indivíduos se apegam a valores estéticos em diferentes aspectos do ecossistema como passeios, seleção de locais para moradia, representação artística da natureza.
Inspiracional	Rica fonte de inspiração proporcionada pelos ecossistemas para arte, música, arquitetura e pesquisa.
Espiritual e religiosa	Valores religiosos e espirituais são atribuídos a componentes dos ecossistemas. Lugares ou animais sagrados fazem parte do ecossistema.
Educacional/ Intelectual/ científico	Ecossistemas, seus diferente componentes e processos participam da base da educação de comunidades, influenciando no conhecimento de várias culturas. Valores educacionais presentes em livros e viagens escolares. Observações que desencadeiam pesquisas científica como resistência de uma espécie a algum patógeno ou observação de certos padrões genéticos.
Sensação de lugar	Sensações proporcionadas pelos ecossistemas que promovem um "senso de lugar", atributos que tornam o lugar único, especial e promovem também a sensação de apego e autenticidade.
Recreação/ ecoturismo/caça/ pesca	Indivíduos muitas vezes escolhem passar seu tempo de lazer em ambientes naturais ou em paisagens cultivadas. Caça e pesca recreacional são exemplos de destaque. Arrendamento de terras para caça recreacional nos Estados Unidos e em alguns países da África é comum.
Herança cultural	Diversidade de ecossistemas é um dos fatores que contribui para a diversidade de inúmeras culturas. Sociedades valorizam a manutenção de paisagens com valor histórico e de espécies animais e/ou vegetais com valor cultural significativo.

Fonte: Adaptado de Millennium Ecosystem Assessment (2005), Swinton et al. (2007), Raudsepp-Hearne et al. (2010), Daniel et al. (2012), Hirons et al. (2016), Ryan et al. (2016), Kreye et al. (2017), D'Ottavio et al. (2018) e Kosanic e Petzold (2020)

Embora vários benefícios como os descritos na Tabela 1, sejam de extremo valor e reconhecidos, quantificar valores não materiais proporcionados pelos SEC é complexo, muitas vezes inatingível e subjetivo (Daniel et al., 2012; Chan e Stterfield, 2016). Além disso, muitos trabalhos que trazem os SEC como tópico principal, ou como parte do estudo, são realizados a níveis regionais e dificilmente podem ser aplicados a outros cenários. Diante de tais desafios e tamanha heterogeneidade, poucos indicadores são confiáveis para definir, medir e atribuir um valor de mercado à qualidades cognitivas, recreativas ou estéticas (Hernandez-Morcillo et al., 2013; Cheng et al., 2019). Se a meta for acessar SEC gerados por um ecossistema, é importante levar em consideração também a relação entre observadores e o ambiente, incluindo fatores tais como antecedentes sociais e culturais, tradições de comportamento, julgamento, hábitos e crenças (Gee e Burkhard, 2010; Scholte et al., 2015).

Mecanismos de Pagamentos por Serviços Ecossistêmicos

Serviços ecossistêmicos beneficiam toda a sociedade, mas na maioria dos casos não existe um benefício direto ao proprietário da terra. No entanto, existem mecanismos de pagamento pelos serviços ecossistêmicos que podem ser implementados. Existem diversos exemplos que podem ser citados, como por exemplo os créditos de carbono, pagamentos por áreas de conservação ambiental, programas de custeio para aquisição de equipamentos e serviços, redução de impostos, ou até mesmo nichos de mercado com potencial de pagar mais por produtos produzidos de forma sustentável (Dubeux Junior et al., 2022).

Créditos de carbono obtidos pelo sequestro de carbono orgânico no solo em áreas agrícolas pode ser uma opção viável para compensar a emissão de gases de efeito estufa oriundos da produção agrícola (Badgery et al., 2021). Diversas práticas agrícolas podem aumentar o sequestro de carbono orgânico, dentre elas se destacam o cultivo mínimo, plantio de árvores, culturas de cobertura, e mudança no uso da terra migrando de culturas agrícolas para pastagens perenes (Powers et al., 2014). O mercado de carbono pode ser dividido em mercados de cota ou voluntário. O mercado de cotas almeja alcançar alvos de redução de emissão enquanto o mercado voluntário é comumente utilizado por empresas como forma de responsabilidade social e ambiental além de promoção de marcas comerciais (Zhou e Li, 2019). Em uma simulação com sistemas florestais, Pukkala (2020) indicaram que um pagamento de €100 (aprox $100 USD) ou mais por tonelada de carbono teria potencial de aumentar em 70% o sequestro de carbono naqueles sistemas. Atualmente o pagamento está em torno de $50 USD por tonelada de carbono sequestrado. Existe uma tendência de usar crédito de carbono em áreas de pastagens, principalmente em sistemas especializados como os sistemas silvopastoris onde a inclusão de árvores tem potencial de aumentar o sequestro de carbono orgânico no solo e mitigar a emissão de gases de efeito estufa. Os produtos oriundos desses sistemas melhorados poderiam ser comercializados em mercados especializados que reconhecem o valor do produto produzido em condições sustentáveis.

Nos Estados Unidos tem sido uma prática comum o pagamento por unidades de conservação ambiental. Na prática, o proprietário rural com áreas ambientalmente sensíveis ou com riqueza de recursos naturais como biodiversidade de fauna e flora e/ou recursos hídricos recebem o valor da propriedade como compensação em um contrato de 100 anos onde não é permitido a modificação e/ou intensificação das práticas de produção no agroecossistema. O produtor pode continuar produzindo nos limites indicados no contrato. Esta prática permite a conservação

de “ilhas de biodiversidade”, garantindo a preservação das mesmas na transição de gerações. Além disso, reduz o problema da fragmentação de habitats, criando corredores de biodiversidade, protegendo os mananciais e garantido a provisão de serviços ecossistêmicos (Farmer et al., 2015). Além do pagamento por unidades de conservação, o co-pagamento por equipamentos para uso de plantio direto e cultivo mínimo, culturas de cobertura, ou outra prática de conservação que resulte em maior sequestro de carbono orgânico no solo tem sido utilizado por agências de conservação ambiental de alguns países. Redução do pagamento de impostos rurais para produtores que manejam a propriedade rural de forma ambientalmente sustentável com provisão de serviços ecossistêmicos também pode ser um mecanismo importante de compensação. Essa redução poderia ser aplicada no imposto sobre a propriedade rural, sobre os produtos comercializados ou até mesmo sobre os insumos adquiridos regularmente por produtores rurais. Por fim, mercados especializados em produtos originados de sistemas de produção ambientalmente sustentáveis poderiam recompensar os produtores pelos serviços ecossistêmicos. Esses produtos devem ser certificados por uma entidade independente. O produto receberia um preço superior no mercado pelo reconhecimento da prática sustentável. De fato, esse mercado já existe, por exemplo, para produtos orgânicos.

Um dos entraves para implementação do pagamento por serviços ecossistêmicos é a capacidade de quantificar esses serviços. Atualmente existem esforços de pesquisa para monitorar e medir os serviços ecossistêmicos utilizado sensoriamento remoto, inteligência artificial e aprendizado de máquinas (“machine learning”). Um dos caminhos pode ser a utilização de uso da terra e/ou cobertura do solo como proxy para o suprimento de serviços ecossistêmicos. Todavia, a variabilidade ambiental dificulta o pronto estabelecimento desses sistemas, no entanto, as pesquisas avançam nessa área. A quantificação dos serviços ambientais deve ser acurada e ao mesmo tempo viável de ser implantada. Altos custos de monitoramento podem inviabilizar o pagamento por esses serviços.

Considerações Finais

Os serviços ecossistêmicos providos por pastagens são, em geral, dependentes do manejo e produtividade do sistema. As principais estratégias de manejo para maximizar os benefícios providos por pastagens envolvem calagem, adubação de estabelecimento e manutenção, ajustes de taxas de lotação e manejo do pastejo. Cuidados com a reposição de nutrientes no solo e controle da pressão de

pastejo são determinantes para manter a cobertura do solo, e consequentemente controle da erosão, captação de água e sequestro de carbono. Além disso, pastagens produtivas permitem maior desempenho animal, retornando maior ganho médio diário, proporcionando maiores taxas de lotação e maior ganho por área. A melhoria do desempenho animal impacta positivamente na lucratividade da atividade pecuária, ao passo que mantém a sustentabilidade do sistema.

Com relação às estratégias de manejo, recomenda-se a procura por assistência técnica para amostragem de solo, escolha da espécie forrageira mais adequada, cálculo de calagem e adubação, aquisição de sementes de boa qualidade, manejo do pastejo de acordo com a metas de altura recomendada para cada espécie forrageira e sistema de produção, ajustes de lotação de acordo com a oferta de forragem e requerimento nutricional dos animais, controle de plantas invasoras, bem como monitoramento da produtividade e processos de degradação ao longo dos anos.

Em termos de monitoramento de pastagens para quantificação dos serviços ecossistêmicos providos pelas mesmas, o advento de novas tecnologias como o sensoriamento remoto via drones ou satélites, a inteligência artificial, internet das coisas, os diversos tipos de sensores de solo ou climáticos, bem como avanços em termos de maquinário agrícola permitem atualmente o monitoramento automatizado da biomassa, altura, valor nutritivo, composição botânica e grau de degradação de pastagens em larga escala. Tais tecnologias suportam a tomada de decisão com relação aos ajustes de lotação, manejo do pastejo, ajustes na formulação de suplementos, adubação a taxas variadas por zonas de manejo e controle pontual de plantas daninhas (Bretas et al., 2023). No entanto, mais esforços devem ser direcionados para estreitamento da relação entre indústrias, pecuaristas e pesquisadores. O trabalho em colaboração entre agrônomos, zootecnistas, veterinários, engenheiros agrícolas, e profissionais do ramo de ciência da computação, inteligência artifical e análise de dados será cada vez mais determinante para o manejo de pastagens de precisão e consequente potencialização dos serviços ecossistêmicos providos por pastagens.

Referências

Abdalla, M., Hastings, A., Chadwick, D. R., Jones, D. L., Evans, C. D., Jones, M. B., Smith, P. (2018). Critical review of the impacts of grazing intensity on soil organic carbon storage and other soil quality indicators in extensively managed grasslands. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 253, 62–81. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.10.023

Adhikari, S., Menalled, F. D. (2020). Supporting beneficial insects for agricultural sustainability: The role of livestock-integrated organic and cover cropping to enhance ground beetle (Carabidae) communities. *Agronomy*, 10(8), 1210. https://doi.org/10.3390/agronomy10081210

Adimassu, Z., Tamene, L., Degefie, D. T. (2020). The influence of grazing and cultivation on runoff, soil erosion, and soil nutrient export in the central highlands of Ethiopia. *Ecological Processes*, 9(1), 1-11. https://doi.org/10.1186/s13717-020-00230-z

Ågren, J., Hellström, F., Toräng, P. Ehrlén, J. (2013). Mutualists and antagonists drive among-population variation in selection and evolution of floral display in a perennial herb. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110, 18202–18207. https://doi.org/10.1073/pnas.1301421110

Ajtay, G.L., Ketner, P., Duvigneaud, P., (1979). *Terrestrial primary production and phytomass*. In: Bolin, B., Degens, E.T., Kempe, S., Ketner, P. (Eds.), The Global Carbon Cycle. John Wiley & Sons, Chichester, UK, pp. 129–181.

Ali, A., Desneux, N., Lu, Y., Wu, K. (2018). Key aphid natural enemies showing positive effects on wheat yield through biocontrol services in northern China. *Agriculture, Ecosystems and Environment,* 266, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.012

Alignier, A., Raymond, L., Deconchat, M., Menozzi, P., Monteil, C., Sarthou, J. P. (2014). The effect of semi-natural habitats on aphids and their natural enemies across spatial and temporal scales. *Biological Control*, 77, 76–82. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.06.006

Amorim, H. C., Ashworth, A. J., Moore Jr, P. A., Wienhold, B. J., Savin, M. C., Owens, P. R., Xu, S. (2020). Soil quality indices following long-term conservation pasture management practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 301, 107060. https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107060

Anderson, R. G., French, A. N. (2019). Crop evapotranspiration. *Agronomy*, 9(10), 64. https://doi.org/10.3390/agronomy9100614

Anglade, J., Billen, G., Garnier, J. (2015) Relationships for estimating N_2 fixation in legumes: incidence for N balance of legume-based cropping systems in Europe. *Ecosphere*, 6(3), 1–24. https://doi.org/10.1890/ES14-00353.1

Apolinário, V. X., Dubeux Jr, J. C., Lira, M. A., Ferreira, R. L., Mello, A. C., Santos, M. V., Muir, J. P. (2015). Tree legumes provide marketable wood and add nitrogen in warm-climate silvopasture systems. *Agronomy Journal*, 107(5), 1915-1921. https://doi.org/10.2134/agronj14.0624

Assunção, S. A., Pereira, M. G., Rosset, J. S., Berbara, R. L. L., García, A. C. (2019). Carbon input and the structural quality of soil organic matter as a function of agricultural management in a tropical climate region of Brazil. *Science of the Total Environment*, 658, 901-911. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.271

Badgery, W., Murphy, B., Cowie, A., Orgill, S., Rawson, A., Simmons, A., Crean J. (2021). Soil carbon market-based instrument pilot – the sequestration of soil organic carbon for the purpose of obtaining carbon credits. *Soil Research*, 59(1), 12-23. https://doi.org/10.1071/SR19331

Bengtsson, J. B., Ullock, J. M. B., Goh, B. E., Verson, C. E., Verson, T. E., Onnor, T. O. C. (2019). Grasslands—more important for ecosystem services than you might think. *Ecosphere*, 10:e02582. https://doi.org/10.1002/ecs2.2582

Bichel, A., Telles, T.S. (2021). Spatial dynamics of firewood and charcoal production in Brazil. *Journal of Cleaner Production* 313, 127714. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127714.

Boddey, R. M., MacEdo, R., Tarré, R. M., Ferreira, E., De Oliveira, O. C., De, C., Cantarutti, R. B., Pereira, J. M., Alves, B. J. R., Urquiaga, S. (2004). Nitrogen cycling in Brachiaria pastures: The key to understanding the process of pasture decline. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *103*(2), 389–403. https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.12.010

Bongaarts, J. (2003). World Agriculture: Towards 2015/2030: An FAO Perspective and Summary Report. *Population and Development Review*, 29, 330-331.

Braimoh, A.K. (2006). Random and systematic land-cover transitions in northern Ghana. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 113, 254-263. https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.10.019.

Bretas, I. L., Dubeux, J. C. B., Cruz, P. J. R., Oduor, K. T., Queiroz, L. D., Valente, D. S. M., Chizzotti, F. H. M. (2023). Precision livestock farming applied to grazingland monitoring and management— A review. *Agronomy Journal*, 00, 1–23. https://doi.org/10.1002/agj2.21346

Brown, M. J., Dicks, L. V., Paxton, R. J. (2009). The conservation of bees: a global perspective. *Apidologie*, 47(3), 427-437. https://doi.org/10.1051/apido/2009019

Bucher, R., Andres, C., Wedel, M. F., Entling, M. H., Nickel, H. (2016). Biodiversity in low-intensity pastures, straw meadows, and fallows of a fen area–a multitrophic comparison. *Agriculture, Ecosystems and Environment,* 219, 190-196. https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.12.019

Buckingham, S., Cloy, J., Topp, K., Rees, R., Webb, J. (2013). *Capturing Cropland and Grassland Management Impacts on Soil Carbon in the UK Land Use*. Report for DEFRA Project SP1113. Land Use Change and Forestry (LULUCF) inventory.

Cadman, M., C. deVilliers, Lechmere-Oertel, R. McCulloch., D. (2013). *Grasslands Ecosystem Guidelines: landscape interpretation for planners and managers*. South African National Biodiversity Institute.

Cardellino, R.C., Mueller, J.P. (2009). *Fibre production and sheep breeding in South America*. Book of abstracts of the Armidale, 366-373.

Cárdenas, A., Moliner, A., Hontoria, C., Ibrahim, M. (2019). Ecological structure and carbon storage in traditional silvopastoral systems in Nicaragua. *Agroforestry Systems*, 93, 229-239. https://doi.org/10.1007/s10457-018-0234-6

CAST - Council for Agricultural Science and Technology (2002). *Environmental impacts of livestock on U.S. grazing lands*. 22.

Chan, K. M., Satterfield, T. (2016). *Managing cultural ecosystem services for sustainability*. *In*: Routledge handbook of ecosystem services. p. 343-358.

Chaparro, J. M., Sheflin, A. M., Manter, D. K., Vivanco, J. M. (2012). *Manipulating the soil microbiome to increase soil health and plant fertility*. In: Biology and Fertility of Soil. 48, (5). p. 489-499. https://doi.org/10.1007/s00374-012-0691-4

Chapman, S. K., Newman, G. S., Hart, S. C., Schweitzer, J. A., Koch, G. W. (2013). Leaf Litter Mixtures Alter Microbial Community Development: Mechanisms for Non-Additive Effects in Litter Decomposition. *PLoS ONE*, 8(4), e62671. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062671

Cheng, X., Van Damme, S., Li, L., Uyttenhove, P. (2019). Evaluation of cultural ecosystem services: A review of methods. *Ecosystem services*, 37, 100925.

Clay, G.D., Worall, F. (2013). The response of CO_2 fluxes from a peat soil to variation in simulated sheep trampling. *Geoderma*, 197, 59–66. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.12.008

Clegg, C. D. (2006). Impact of cattle grazing and inorganic fertiliser additions to managed grasslands on the microbial community composition of soils. *Applied Soil Ecology*, 31(1-2), 73-82. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.04.003

Cole, J. J., Hararuk, O., Solomon, C. T. (2021). *The carbon cycle: with a brief introduction to global biogeochemistry*. In Fundamentals of ecosystem science (pp. 131-160). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812762-9.00007-1

Coscieme, L. (2015). Cultural ecosystem services: The inspirational value of ecosystems in popular music. *Ecosystem services*, 16, 121-124. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.10.024

Costanza, R., De Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., ... Grasso, M. (2017). Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem services*, 28, 1-16. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008

Cotrufo, M. F., Soong, J. L., Horton, A. J., Campbell, E. E., Haddix, M. L., Wall, D. H., Parton, W. J. (2015). Formation of soil organic matter via biochemical and physical pathways of litter mass loss. *Nature Geoscience*, *8*(10). 776-779. https://doi.org/10.1038/ngeo2520

Cox, R., O'Neal, M., Hessel, R., Schulte, L., Helmers, M. (2014). The impact of prairie strips on *Aphidophagous* predator abundance and soybean aphid predation in agricultural catchments, *Environmental Entomology*, 43 (5), 1185–1197. https://doi.org/10.1603/EN13129

Cunha, J.T. S. F. Aspectos florais, caracterização e seleção de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*). 2021. 94f. Tese (Doutorado). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Recife-PE.

Damalas, C. A., Eleftherohorinos, I. G. (2011). Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(5), 1402-1419. . https://doi.org/10.3390/ijerph8051402.

Daniel, T. C., Muhar, A., Arnberger, A., Aznar, O., Boyd, J. W., Chan, K. M., von der Dunk, A. (2012). Contributions of cultural services to the ecosystem services agenda. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(23), 8812-8819. https://doi.org/10.1073/pnas.1114773109

Díaz, S. M., Settele, J., Brondízio, E., Ngo, H., Guèze, M., Agard, J., Zayas, C. (2019). *The global assessment report on biodiversity and ecosystem services: Summary for policy makers*.

Diekötter, T., Kadoya, T., Peter, F., Wolters, V., Jauker, F. (2010). Oilseed rape crops distort plant–pollinator interactions. *Journal of Applied Ecology*, 47(1), 209-214. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01759.x

Diniz, W. P. S. Aspectos produtivos, qualitativos e frequência de visitantes florais em espécies de *Stylosanthes* ssp. Na Zona da Mata Seca de Pernambuco. 2020. 131p. Tese (Doutorado). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Recife-PE.

Doisy, D., Colbach, N., Roger-Estrade, J., Médiène, S. (2014). Weed seed rain interception by grass cover depends on seed traits. *Weed research*, 54(6), 593-602. https://doi.org/10.1111/wre.12106

D'Ottavio, P., Francioni, M., Trozzo, L., Sedić, E., Budimir, K., Avanzolini, P., Toderi, M. (2018). Trends and approaches in the analysis of ecosystem services provided by grazing systems: A review. *Grass and Forage Science*, 73(1), 15-25. https://doi.org/10.1111/gfs.12299

Dubeux Junior, J. C. B., Sollenberger, L. E., Interrante, S. M., Vendramini, J. M. B., Stewart, R. L. (2006). Litter decomposition and mineralization in bahiagrass pastures managed at different intensities. *Crop Science*, 46(3), 1305–1310. https://doi.org/10.2135/cropsci2005.08-0263

Dubeux Junior, J. C. B., Sollenberger, L. E., Mathews, B. W., Scholberg, J. M., Santos, H. Q. (2007). Nutrient cycling in warm-climate grasslands. *Crop Science*, 47(3), 915–928. https://doi.org/10.2135/cropsci2006.09.0581

Dubeux Junior, J.C.B., Jaramillo, D., Santos, E.R.S., Garcia, L., Queiroz, L.D. (2022). Invited Review: Ecosystem services provided by grasslands in the Southeast United States. *Applied Animal Science*, 38, 648-659. https://doi.org/10.15232/aas.2022-02296.

Egoh, B. N., O'Farrell, P. J., Charef, A., Gurney, L. J., Koellner, T., Abi, H. N., Willemen, L. (2012). An African account of ecosystem service provision: Use, threats and policy options for sustainable livelihoods. *Ecosystem Services*, 2, 71-81. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.09.004

Eze, S., Palmer, S. M., Chapman, P. J. (2018). Soil organic carbon stock in grasslands: Effects of inorganic fertilizers, liming and grazing in different climate settings. *Journal of Environmental Management*, 223, 74-84. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.06.013

Farmer, J. R., Meretsky, V., Knapp, D., Chancellor, C., Fischer, B. C. (2015). Why agree to a conservation easement? Understanding the decision of conservation easement granting. *Landscape and Urban Planning,* 138, 11-19. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.01.005

Fischer, C., Leimer, S., Roscher, C., Ravenek, J., de Kroon, H., Kreutziger, Y., Hildebrandt, A. (2019). Plant species richness and functional groups have different effects on soil water content in a decade-long grassland experiment. *Journal of Ecology*, 107(1), 127-141. https://doi.org/10.1111/1365-2745.13046

Franzluebbers, A.J., Gastal, F. (2018). *Building agricultural resilience with conservation pasture-crop rotations.* In: Agroecosystem diversity: reconciling contemporary agriculture and environmental quality. Elsevier, Burlington, pp 109–121

Franzluebbers, A.J., Sawchik, J., Taboada, M.A. (2014) Agronomic and environmental impacts of pasture-crop rotations in temperate North and South America. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 190, 18–26. https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.017

Garibaldi, L. A., Steffan-Dewenter, I., Kremen, C., Morales, J. M., Bommarco, R., Cunningham, S. A., Klein, A. M. (2011). Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits. *Ecology letters*, 14(10), 1062-1072. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01669.x

Gee, K., Burkhard, B. (2010). Cultural ecosystem services in the context of offshore wind farming: a case study from the west coast of Schleswig-Holstein. *Ecological Complexity*, 7(3), 349-358. https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2010.02.008

Gentine, P., Green, J. K., Guérin, M., Humphrey, V., Seneviratne, S. I., Zhang, Y., Zhou, S. (2019). Coupling between the terrestrial carbon and water cycles - A review. *Environmental Research Letters*, 14 (8). 083003. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab22d6

Gikas, G. D., Tsihrintzis, V. A., Sykas, D. (2016). Effect of trees on the reduction of nutrient concentrations in the soils of cultivated areas. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188, 1-19. https://doi.org/10.1007/S10661-016-5325-0

Godoy, M. R. V., Markonis, Y., Hanel, M., Kyselý, J., Papalexiou, S. M. (2021). The Global Water Cycle Budget: A Chronological Review. *Surveys in Geophysics*, 42(5), 1075-1107. https://doi.org/10.1007/s10712-021-09652-6

Haan, M. M., Russell, J. R., Powers, W. J., Kovar, J. L., Benning, J. L. (2006). Grazing Management Effects on Sediment and Phosphorus in Surface Runoff. *Rangeland Ecology & Management*, 59, 607-615. https://doi.org/10.2111/05-152R2.1.

Habel, J. C., Ulrich, W., Biburger, N., Seibold, S., Schmitt, T. (2019) Agricultural intensification drives butterfly decline. *Insect Conservation and Diversity,* 12(4), 289-295. https://doi.org/10.1111/icad.12343

Hallmann, C. A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., De Kroon, H. (2017). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PloS one*, 12(10), e0185809. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809

Hao, R., Yu, D., Wu, J. (2017). Relationship between paired ecosystem services in the grassland and agro-pastoral transitional zone of China using the constraint line method. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 240, 171-181. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.015

Hayes, R. C., Li, G. D., Norton, M. R., Culvenor, R. A. (2018). Effects of contrasting seasonal growth patterns on composition and persistence of mixed grass-legume pastures over 5 years in a semi-arid Australian cropping environment. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 204(3), 228-242. https://doi.org/10.1111/jac.12258

Helgadóttir, Á., Suter, M., Gylfadóttir, T. Ó., Kristjánsdóttir, T. A., Lüscher, A. (2018). Grass–legume mixtures sustain strong yield advantage over monocultures under cool maritime growing conditions over a period of 5 years. *Annals of Botany*, 122(2), 337-348. https://doi.org/10.1093/aob/mcy074

Hernandez-Morcillo, M., Plieninger, T., Bieling, C. (2013). An empirical review of cultural ecosystem service indicators. Ecological indicators, 29, 434-444. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.01.013

Hewins, D. B., Lyseng, M. P., Schoderbek, D. F., Alexander, M., Willms, W. D., Carlyle, C. N., Bork, E. W. (2018). Grazing and climate effects on soil organic carbon concentration and particle-size association in northern grasslands. *Scientific Reports*, 8(1), 1336. https://doi.org/10.1038/s41598-018-19785-1

Hirons, M., Comberti, C., Dunford, R. (2016). Valuing cultural ecosystem services. *Annual Review of Environment and Resources,* 41, 545-574. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085831

Huang, J., Zhou, K., Zhang, W., Deng, X., van Der Werf, W., Lu, Y., Rosegrant, M. W. (2018). Uncovering the economic value of natural enemies and true costs of chemical insecticides to cotton farmers in China. *Environmental Research Letters*, 13(6), 064027. https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabfb0

Imhoff, M. L., Bounoua, L., Ricketts, T., Loucks, C., Harriss, R., Lawrence, W. T. (2004). Global patterns in human consumption of net primary production. *Nature*, 429(6994). https://doi.org/10.1038/nature02619

Issaka, S., Ashraf, M. A. (2017). Impact of soil erosion and degradation on water quality: a review. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 1(1), 1-11. https://doi.org/10.1080/24749508.2017.1301053

Jax, K., Barton, D. N., Chan, K. M., De Groot, R., Doyle, U., Eser, U., Wichmann, S. (2013). Ecosystem services and ethics. *Ecological Economics*, 93, 260-268. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.06.008

Johnston, A. E., Poulton, P. R., Coleman, K., Macdonald, A. J., White, R. P. (2017). Changes in soil organic matter over 70 years in continuous arable and ley–arable rotations on a sandy loam soil in England. *European Journal of Soil Science*, 68(3), 305-316. https://doi.org/10.1111/ejss.12415

Keesstra, S.D., Geissen, V., Mosse, K., Piiranen, S., Scudiero, E., Leistra, M., van Schaik, L., 2012. Soil as a filter for groundwater quality. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4, 507-516. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.10.007.

Kimoto, C., DeBano, S. J., Thorp, R. W., Taylor, R. V., Schmalz, H., DelCurto, T., Rao, S. (2012). Short-term responses of native bees to livestock and implications for managing ecosystem services in grasslands. *Ecosphere*, 3(10), 1-19. https://doi.org/10.1890/ES12-00118.1

Koh, I., Holland, J. D. (2015). Grassland plantings and landscape natural areas both influence insect natural enemies. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 199, 190-199. https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.09.007

Kohmann, M. M., Sollenberger, L. E., Dubeux, J. C. B., Silveira, M. L., Moreno, L. S. B., da Silva, L. S., Aryal, P. (2018). Nitrogen fertilization and proportion of legume affect litter decomposition and nutrient return in grass pastures. *Crop Science*, *58*(5), 2138–2148. https://doi.org/10.2135/cropsci2018.01.0028

Kosanic, A., Petzold, J. (2020). A systematic review of cultural ecosystem services and human wellbeing. Ecosystem Services, 45, 101168. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101168

Kreye, M. M., Adams, D. C., Ghimire, R., Morse, W., Stein, T., Bowker, J. M. (2017). *Forest ecosystem services: cultural values.* Trees At Work: United States Department of Agriculture Forest Service Southern Research Station General Technical Report SRS-226 November 2017 Economic Accounting for Forest Ecosystem Services in the US South.

Lal, R., 2017. *Soil erosion by wind and water: problems and prospects*. Soil Erosion Research Methods. Routledge, 1–10 pp.

Lázaro, A., Tscheulin, T., Devalez, J., Nakas, G., Stefanaki, A., Hanlidou, E., Petanidou, T. (2016). Moderation is best: effects of grazing intensity on plant–flower visitor networks in Mediterranean communities. *Ecological Applications*, 26(3), 796-807. https://doi.org/10.1890/15-0202

Leal Filho, W., Azeiteiro, U. M., Balogun, A. L., Setti, A. F. F., Mucova, S. A., Ayal, D., Oguge, N. O. (2021). The influence of ecosystems services depletion to climate change adaptation efforts in Africa. *Science of The Total Environment*, 779, 146414. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146414

Lechenet, M., Dessaint, F., Py, G., Makowski, D., Munier-Jolain, N. (2017). Reducing pesticide use while preserving crop productivity and profitability on arable farms. *Nature Plants*, 3(3), 1-6. https://doi.org/10.1038/nplants.2017.8

Lechenet, M., Makowski, D., Py, G., Munier-Jolain, N. (2016). Profiling farming management strategies with contrasting pesticide use in France. *Agricultural Systems*, 149, 40-53. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.08.005

Lira Junior, M. A., Fracetto, F. J. C., Ferreira, J. S., Silva, M. B., Fracetto, G. G. M. (2020). Legume-based silvopastoral systems drive C and N soil stocks in a subhumid tropical environment. *Catena*, 189, 104508, https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104508.

Luna, D. V., Lara-Rodríguez, D. A., Sánchez, A. J., Prieto, L. A. D., Silvestre, M. G. V. (2019). Tropical legumes as improvers of rangeland and agricultural soils. *Tropical and Subtropical Agroecosystem*s, 22(1). http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.2715

Ma, X., Zhao, C., Zhu, J. (2021). Aggravated risk of soil erosion with global warming–A global meta-analysis. *Catena*, 200, 105129. https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.105129

Machado, C.S., Alves, R.I.S., Fregonesi, B.M., Tonani, K.A.A., Martinis, B.S., Sierra, J., Nadal, M., Domingo, J.L., Segura-Muñoz, S. (2016). Chemical Contamination of Water and Sediments in the Pardo River, São Paulo, Brazil. *Procedia Engineering*, 162, 230-237. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.046.

Macleod, C. J., Ferrier, R. C. (2011). 24 Temperate Grasslands in Catchment Systems: the Role of Scale, Connectivity and Thresholds in the Provision and Regulation of Water Quality and Quantity. *Grassland Productivity and Ecosystem Services*, 229.

Marshall, M. R., Ballard, C. E., Frogbrook, Z. L., Solloway, I., McIntyre, N., Reynolds, B. (2014). The impact of rural land management changes on soil hydraulic properties and runoff processes: Results from experimental plots in upland UK. Hydrological Processes, 28(4), 2617–2629. https://doi.org/10.1002/hyp.9826

Pastur, G. M., Peri, P. L., Lencinas, M. V., García-Llorente, M., Martín-López, B. (2016). Spatial patterns of cultural ecosystem services provision in Southern Patagonia. *Landscape Ecology*, 31, 383-399. https://doi.org/10.1007/s10980-015-0254-9

Medina-Roldán, E., Paz-Ferreiro, J., Bardgett, R. D. (2012). Grazing exclusion affects soil and plant communities, but has no impact on soil carbon storage in an upland grassland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 149, 118-123. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.12.012

Meiss, H., Le Lagadec, L., Munier-Jolain, N., Waldhardt, R., Petit, S. (2010). Weed seed predation increases with vegetation cover in perennial forage crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 138(1-2), 10-16. https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.03.009

Mestdagh, I., Lootens, P., Van Cleemput, O., Carlier, L. (2006). Variation in organic-carbon concentration and bulk density in Flemish grassland soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169(5), 616-622. https://doi.org/10.1002/jpln.200521861

Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and human well-being*. p. 563. Washington, DC: Island press.

Miller, R. M., Jastrow, J. D. (1990). Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation. *Soil Biology and Biochemistry*, *22*(5). https://doi.org/10.1016/0038-0717(90)90001-G

Mishra, S., Lin, Z., Pang, S., Zhang, W., Bhatt, P., Chen, S. (2021). Recent advanced technologies for the characterization of xenobiotic-degrading microorganisms and microbial communities. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 632059. https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.632059

Montagnini, F., Ibrahim, M., Murgueitio, E. (2013). Silvopastoral systems and climate change mitigation in Latin America. *Bois et forêts des tropiques*, 316(2), 3-16. https://doi.org/10.19182/bft2013.316.a20528.

Mota, M. A. A. Aspectos morfológicos e produtivos da *Clitoria ternatea* L. em diferentes sistemas de cultivo: Impacto na diversidade e comportamento de visitantes florais. 2022. 73f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Recife.

Muneret, L., Mitchell, M., Seufert, V., Aviron, S., Djoudi, E. A., Pétillon, J., Rusch, A. (2018). Evidence that organic farming promotes pest control. *Nature Sustainability*, 1(7), 361-368. https://doi.org/10.1038/s41893-018-0102-4

Munk, N. (2015). Inclusão dos serviços ecossistêmicos na avaliação ambiental estratégica. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Obour, P. B., Jensen, J. L., Lamandé, M., Watts, C. W., Munkholm, L. J. (2018). Soil organic matter widens the range of water contents for tillage. *Soil and Tillage Research*, 182, 57-65. https://doi.org/10.1016/j.still.2018.05.001

Oliveira, C. F., do Valle Junior, R. F., Valera, C. A., Rodrigues, V. S., Fernandes, L. F. S., Pacheco, F. A. L. (2019). The modeling of pasture conservation and of its impact on stream water quality using Partial Least Squares-Path Modeling. *Science of The Total Environment*, 697, 134081. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134081

Pan, T., Wu, S., Liu, Y. (2015). Relative contributions of land use and climate change to water supply variations over yellow river source area in Tibetan plateau during the past three decades. *Plos One*, 10(4), e0123793. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123793

Peri, P. L., Lencinas, M. V., Bousson, J., Lasagno, R., Soler, R., Bahamonde, H., Pastur, G. M. (2016). Biodiversity and ecological long-term plots in Southern Patagonia to support sustainable land management: The case of PEBANPA network. *Journal for Nature Conservation*, 34, 51-64. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2016.09.003

Petit, S., Trichard, A., Biju-Duval, L., McLaughlin, B., Bohan, D. A. (2017). Interactions between conservation agricultural practice and landscape composition promote weed seed predation by invertebrates. *Agriculture, Ecosystems and Environment,* 240, 45–53. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.014

Pilgrim, E. S., Macleod, C. J., Blackwell, M. S., Bol, R., Hogan, D. V., Chadwick, D. R., Firbank, L. G. (2010). Interactions among agricultural production and other ecosystem services delivered from European temperate grassland systems. *Advances in Agronomy*, 109, 117-154. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385040-9.00004-9

Porter, L. J., Hrstich, L. N., Chan, B. G. (1985). The conversion of proanthocyanidins and prodelphinidins to cyanidin and delpinidin. *Phytochemistry*, 25(1), 223-230. https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)94533-3

Potter, C., Klooster, S., Steinbach, M., Tan, P., Kumar, V., Shekhar, S., Nemani, R., Myneni, R. (2003). Global teleconnections of climate to terrestrial carbon flux. Journal of Geophysical Research: *Atmospheres*, 108(17). https://doi.org/10.1029/2002jd002979

Potts, S. G., Woodcock, B. A., Roberts, S. P. M., Tscheulin, T., Pilgrim, E. S., Brown, V. K., Tallowin, J. R. (2009). Enhancing pollinator biodiversity in intensive grasslands. *Journal of Applied Ecology*, 46(2), 369-379. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01609.x

Powers, W., Auvermann, B., Cole, N. A., Gooch, C., Grant, R., Hatfield, J., Hunt, P., Johnson, K., Leytem, A., Liao, W. (2014). Quantifying greenhouse gas sources and sinks in animal production systems, Quantifying Greenhouse Gas Fluxes in Agriculture and Forestry: Methods for Entity-Scale Inventory. Technical Bulletin Number 1939. Citeseer.

Pukkala, T. (2020). At what carbon price forest cutting should stop. *Journal of Forestry Research*, 31(3), 713-727. https://doi.org/10.1007/s11676-020-01101-1

Ramaswamy, N. S. (1998). Draught animal welfare. *Applied Animal Behaviour Science*, 59, 73-84. https://doi.org/10.1016/S0168-1591(98)00122-1.

Raudsepp-Hearne, C., Peterson, G. D., Bennett, E. M. (2010). Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(11), 5242-5247. https://doi.org/10.1073/pnas.0907284107

Reinermann, S., Asam, S., Kuenzer, C. (2020). Remote Sensing of Grassland Production and Management—A Review. *Remote Sensing*, 12(12), 1949. https://doi.org/10.3390/rs12121949

Rezende, C. P., Cantarutti, R. B., Braga, J. M., Gomide, J. A., Pereira, J. M., Ferreira, E., Tarré, R., Macedo, R., Alves, B. J. R., Urquiaga, S., Cadisch, G., Giller, K. E., Boddey, R. M. (1999). Litter deposition and disappearence in Brachiaria pastures in the Atlantic Forest region of

the south of Bahia, Brazil. *Nutrients Cycling in Agroecosystems*, 54, 99–112. https://doi.org/10.1023/A:1009797419216

Rumpel, C., Lehmann, J., Chabbi, A. (2018). '4 per 1,000'initiative will boost soil carbon for climate and food security. *Nature*, 553(7686), 27-28.

Russell, R., Guerry, A. D., Balvanera, P., Gould, R. K., Basurto, X., Chan, K. M., Tam, J. (2013). Humans and nature: how knowing and experiencing nature affect well-being. *Annual review of environment and resources*, 38, 473-502. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012312-110838

Ryan, C. M., Pritchard, R., McNicol, I., Owen, M., Fisher, J. A., Lehmann, C. (2016). Ecosystem services from southern African woodlands and their future under global change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1703), 20150312. https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0312

Sagie, H., Morris, A., Rofè, Y., Orenstein, D. E., Groner, E. (2013). Cross-cultural perceptions of ecosystem services: A social inquiry on both sides of the Israeli–Jordanian border of the Southern Arava Valley Desert. *Journal of Arid Environments*, 97, 38-48. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.05.007

Santos, J.B., Cury, J.P. (2011). Picão-preto: uma planta daninha especial em solos tropicais. Planta Daninha, 29, 1159-1172. https://doi.org/10.1590/S0100-83582011000500024

Sarthou, J. P., Badoz, A., Vaissière, B., Chevallier, A., Rusch, A. (2014). Local more than landscape parameters structure natural enemy communities during their overwintering in semi-natural habitats. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 194, 17–28. https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.04.018

Savage, J., Woodcock, B. A., Bullock, J. M., Nowakowski, M., Tallowin, J. R., Pywell, R. F. (2021). Management to support multiple ecosystem services from productive grasslands. *Sustainability*, 13(11), 6263. https://doi.org/10.3390/su13116263

Schirpke, U., Meisch, C., Tappeiner, U. (2018). Symbolic species as a cultural ecosystem service in the European Alps: Insights and open issues. *Landscape Ecology*, 33, 711-730. https://doi.org/10.1007/s10980-018-0628-x

Scholte, S. S., Van Teeffelen, A. J., Verburg, P. H. (2015). Integrating socio-cultural perspectives into ecosystem service valuation: A review of concepts and methods. *Ecological Economics*, 114, 67-78. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.03.007

Schuster, M. Z., Gastal, F., Doisy, D., Charrier, X., De Moraes, A., Médiène, S., Barbu, C. M. (2020). Weed regulation by crop and grassland competition: critical biomass level and persistence rate. *European Journal of Agronomy*, 113, 125963. https://doi.org/10.1101/572701

Serajchi, M., Schellenberg, M. P., Lamb, E. G. (2017). The potential of seven native North American forage species to suppress weeds through allelopathy. *Canadian Journal of Plant Science*, 97(5), 881-890. https://doi.org/10.1139/cjps-2016-0354

Shukla, P. R., Skea, J., Calvo Buendia, E., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Malley, J. (2019). *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*.

Sollenberger, L. E., Kohmann, M. M., Dubeux Junior, J. C. B., Silveira, M. L. (2019). Grassland Management Affects Delivery of Regulating and Supporting Ecosystem Services. *Crop Science*, 59, 441-459. https://doi.org/10.2135/cropsci2018.09.0594.

Soussana, J. F., Tallec, T., Blanfort, V. (2010). Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. *Animal*, 4(3), 334-350. https://doi.org/10.1017/S1751731109990784

Spugnoli, P., Dainelli, R. (2013). Environmental comparison of draught animal and tractor power. *Sustainability Science,* 8, 61-72. https://doi.org/10.1007/s11625-012-0171-7.

Steffens, M., Kölbl, A., Totsche, K. U., Kögel-Knabner, I. (2008). Grazing effects on soil chemical and physical properties in a semiarid steppe of Inner Mongolia (PR China). *Geoderma*, 143(1-2), 63-72. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.09.004

Swinton, S. M., Lupi, F., Robertson, G. P., Hamilton, S. K. (2007). Ecosystem services and agriculture: Cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits. *Ecological Economics*, 64(2), 245-252. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.09.020

Tadey, M. (2015). Indirect effects of grazing intensity on pollinators and floral visitation. *Ecological Entomology*, 40(4), 451-460. https://doi.org/10.1111/een.12209

Tanentzap, A. J., Coomes, D. A. (2012). Carbon storage in terrestrial ecosystems: do browsing and grazing herbivores matter? *Biological Reviews*, 87(1), 72-94. https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2011.00185.x

Vanbergen, A. J., Woodcock, B. A., Gray, A., Grant, F., Telford, A., Lambdon, P., Cavers, S. (2014). Grazing alters insect visitation networks and plant mating systems. *Functional Ecology,* 28(1), 178-189. https://doi.org/10.1111/1365-2435.12191

Veres, A., Petit, S., Conord, C., Lavigne, C. (2013). Does landscape composition affect pest abundance and their control by natural enemies? A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 166, 110-117. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.05.027

Vertès, F., Delaby, L., Klumpp, K., Bloor, J. (2018) C–N–P uncoupling in grazed grasslands and environmental implications of management intensification. *Agroecosystem Diversity*. 15–34. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811050-8.00002-9

Vertès, F., Mary, B. (2014). *Part of grassland in ley-arable rotations is a proxy for predicting long term soil organic matter dynamics*. In: Proceedings of the 18th Nitrogen Workshop, 30, 347-348.

Volaire, F., Barkaoui, K., Norton, M. (2014). Designing resilient and sustainable grasslands for a drier future: adaptive strategies, functional traits and biotic interactions. *European Journal of Agronomy,* 52, 81-89. https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.10.002

Weiner, C. N., Werner, M., Linsenmair, K. E., Blüthgen, N. (2011). Land use intensity in grasslands: Changes in biodiversity, species composition and specialisation in flower visitor networks. *Basic and Applied Ecology*, 12(4), 292-299. https://doi.org/10.1016/j.baae.2010.08.006

White, R. P., Murray, S., Rohweder, M. (2000). *Pilot Analysis of Global Ecosystems:* Grassland Ecosystems World Resources Institute.

Whitehead, D. C., Bristow, A. W., Lockyer, D. R. (1990). Organic matter and nitrogen in the unharvested fractions of grass swards in relation to the potential for nitrate leaching after ploughing. *Plant and Soil*, 123, 39-49. https://doi.org/10.1007/BF00009924

Xu, Y., Hu, X., Liu, Z., Zhang, H. (2020). Research advances in net primary productivity of terrestrial ecosystem. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 8(8), 48-54. https://doi.org/10.4236/gep.2020.88005

Yoshihara, Y., Chimeddorj, B., Buuveibaatar, B., Lhagvasuren, B., Takatsuki, S. (2008). Effects of livestock grazing on pollination on a steppe in eastern Mongolia. *Biological Conservation,* 141(9), 2376-2386. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.07.004

Zak, D. R., Holmes, W. E., White, D. C., Peacock, A. D., Tilman, D. (2003). Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: Are there any links? *Ecology*, 84(8). https://doi.org/10.1890/02-0433

Zhao, Y., Liu, Z., Wu, J. (2020) Grassland ecosystem services: a systematic review of research advances and future directions. *Landscape Ecology*, 35, 793–814. https://doi.org/10.1007/s10980-020-00980-3

Zhou, K., Li. Y. (2019). Carbon finance and carbon market in China: Progress and challenges. Journal of Cleaner Production 214:536-549. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.298

Zhu, X., Liu, W., Chen, J., Bruijnzeel, L. A., Mao, Z., Yang, X., Jiang, X. J. (2020). Reductions in water, soil and nutrient losses and pesticide pollution in agroforestry practices: a review of evidence and processes. *Plant and Soil*, 453, 45-86. https://doi.org/10.1007/s11104-019-04377-3.

12

Serrapilheira e Produção de Raízes em Pastagens Tropicais

Karina Guimarães Ribeiro[1]
Carla Silva Chaves[1]
Danielle Nascimento Coutinho[1]
Dayanne Camelo[2]
Odilon Gomes Pereira[1]

Introdução

No Brasil, embora existam extensas áreas de pastagens, a maioria não atinge o potencial máximo de produtividade de forragem. Um dos motivos é o elevado custo de adubos químicos, incluindo as fontes de nitrogênio, principal nutriente para maximizar a produção de forragem e evitar a degradação de pastagens.

O preço histórico de fertilizantes químicos sempre foi elevado, e, devido a acontecimentos que se iniciaram em 2022, incrementou em magnitude, limitando ainda mais o seu uso nos sistemas de produção animal. As grandes extensões de pastagens conseguem sustentar as mais de 220 milhões de cabeças, para atender ao mercado interno e externo, mas, sem a aplicação de fontes de nutrientes, constata-se

[1] Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.
[2] Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco. Bolsista do CNPq

o cenário de milhões de hectares de áreas de pastagens degradadas e muitos recursos gastos, anualmente, para a recuperação ou renovação dos pastos.

O Brasil tem uma riqueza sem precedentes em ecossistemas pastoris, com muitos recursos forrageiros genéticos a serem pesquisados e aplicados no campo, e recursos humanos capacitados para o trabalho, embora muitas vezes faltem políticas públicas que os norteiem, como investimentos em pesquisas para obtenção de fontes alternativas aos fertilizantes químicos.

As plantas forrageiras têm sido evidenciadas em sistemas de pastagens, não somente como fixadoras de carbono, mas com o destaque de plantas sequestradoras de carbono, com grande contribuição para a mitigação de CO_2 da atmosfera, quando encontram-se em sistemas de produção em que o adequado manejo proporciona boa cobertura de solo e produtividade de forragem adequada. As raízes são compostas por substâncias formadas por carbono, sendo também notáveis no sequestro de carbono, além de apresentarem diversos compostos nitrogenados.

A serrapilheira, que consiste no material depositado no solo após sua queda das plantas, provocada por razão natural de senescência e morte de partes vegetais ou por pastejo animal, assim como parte das raízes que senescem, apresentam vários constituintes formados por carbono e nitrogênio. A decomposição de serrapilheira por micro-organismos do solo pode fornecer nutrientes para reciclagem, sendo importante destacar que, as leguminosas forrageiras, plantas que realizam fixação biológica de nitrogênio e apresentam resíduos orgânicos mais ricos em nitrogênio, contribuem para melhorar a qualidade da serrapilheira e sua decomposição em sistemas de pastejo. Entretanto, são escassos os estudos para melhor esclarecimento dos fatores que afetam as taxas de decomposição de serrapilheira para a diversidade de espécies e cultivares forrageiras sob diferentes manejos, no Brasil.

Embora o tema não seja recente, somente nas duas últimas décadas foram conduzidas mais pesquisas na área de ciclagem de nutrientes via serapilheira e raízes, e, nesta revisão, serão relatados algumas metodologias utilizadas e resultados de alguns desses estudos.

Fatores que afetam a deposição e a decomposição de serrapilheira

A quantidade de serapilheira existente, aquela que cai das plantas ao solo, é afetada pelos fatores que afetam o crescimento e o desenvolvimento das plantas e suas produtividades, tais como condições climáticas, dose e parcelamento do adubo nitrogenado e manejo de pastejo. Por sua vez, a quantidade de serrapilheira depositada, material vegetal que cai e se deposita sobre o solo, durante o pastejo dos

animais, depende principalmente do manejo de pastejo e da interação intensidade e frequência de pastejo.

A decomposição da serapilheira é principalmente afetada por sua qualidade (composição química), geralmente avaliada pelas concentrações de minerais, com destaque para C e N, e de lignina, e pelas relações C:N e N:lignina, entre outras. De modo geral, mais altas concentrações de nutrientes na serapilheira, assim como mais baixas concentrações de lignina e menores relações C:N e N:lignina, favorecem sua taxa de decomposição. Outros fatores podem afetar a qualidade, e, consequentemente, a taxa de decomposição da serapilheira, como por exemplo, se o pasto é adubado ou não, a dose e a frequência de adubo aplicado, principalmente nitrogenado, ou se a gramínea está consorciada com uma leguminosa.

Espera-se que a aplicação de nitrogênio nas pastagens, relativamente a pastagens não adubadas, aumente a biomassa de forragem e sua concentração de N, assim como proporciona menor período de descanso dos pastos, aumentando a frequência de pastejo. Esta prática pode melhorar a qualidade da serrapilheira e aumentar a taxa de deposição e a massa de serapilheira existente sobre o solo, como evidenciado por Longhini et al. (2021), em pastos adubados de *Urochloa brizantha* cv. Marandu [*Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) R.D. Webster]. Por sua vez, Homem et al. (2021) observaram mais alta quantidade de serapilheira existente e maior taxa de sua deposição, em pasto de Capim-marandu não adubado, relativamente ao adubado ou consorciado com *Arachis pintoi* cv. Mandobi (*Arachis pintoi* Krapov. & W.C. Greg.). Entretanto, a concentração de N e a taxa de decomposição da serrapilheira no pasto em monocultivo de gramínea foram menores, proporcionando variação anual negativa de N no sistema solo-planta-animal.

Em razão dos elevados custos de fertilizantes químicos para utilização em pastagens, o uso de leguminosas forrageiras deveria ser mais incentivado. Essas plantas apresentam mais altas concentrações de nitrogênio e, geralmente, mais baixas concentrações de celulose e hemicelulose, embora tenham mais alta concentração de lignina. Segundo Cotrufo et al. (2013), compostos de mais difícil decomposição, como carboidratos estruturais e lignina, denominados de recalcitrantes, podem impedir ou retardar a decomposição da serapilheira pelos micro-organismos no solo. No entanto, a serapilheira em pastos consorciados apresenta mais alta concentração de N e mais baixa relação C:N, relativamente a pastos exclusivos de gramíneas, o que favorece sua decomposição. De acordo com Sollenberger e Dubeux Junior (2022), espera-se que os consórcios demonstrem maior vantagem quando nenhum fertilizante nitrogenado é aplicado à monocultura de gramínea e o N do solo é limitante. Ressalta-se que

esta é a situação encontrada na grande maioria dos sistemas de produção animal sob pastejo, no Brasil.

A qualidade e a taxa de decomposição de serrapilheira de pastos consorciados também podem ser afetadas pela proporção de leguminosa (Freitas, 2015). Em estudo de decomposição, Kohmann et al. (2018) verificaram que as perdas de biomassa e a liberação de N ocorreram mais rapidamente e em maior extensão à medida que a proporção de Amendoim rizomatoso (*Arachis glabrata* Benth.) aumentou na serrapilheira de Capim-bahia (*Paspalum notatum* Flüggé), enquanto Kohmann et al. (2019) verificaram que as misturas desta leguminosa com a gramínea foram superiores no retorno de nutrientes, em relação à monocultura de gramínea não fertilizada, e semelhantes ou superiores à gramínea moderadamente fertilizada com N ou mesmo à monocultura de leguminosa.

A espécie de gramínea a ser consorciada com a leguminosa também pode afetar a proporção de leguminosa na serrapilheira e sua qualidade. Na combinação capim-marandu e *A. pintoi* cv. Amarillo, Longhini et al. (2021) verificaram lento estabelecimento para a leguminosa, que manteve proporção de 10% no pasto consorciado. Já no trabalho de Menezes (2014), com *Urochloa decumbens* cv. Basilisk (*Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster) consorciada com *A. pintoi* cv. Belmonte, observou-se rápido estabelecimento para a leguminosa, verificando-se 35% na composição botânica, no 3º ciclo de pastejo. Em outro estudo, Cardoso (2019) verificou que os percentuais de *A. pintoi* cv. Belmonte em pastos de *U. decumbens* foram mantidos entre 40% (período chuvoso) e 47% (período seco), até três anos após a implantação dos pastos, com melhoria na concentração de N da serrapilheira. Além disso, pode haver diferença na serapilheira entre cultivares da mesma espécie de gramínea. Avaliando duas cultivares de *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs em monocultivo, sob pastejo, Freitas (2019) verificou que a BRS Zuri proporcionou melhor composição química e maiores taxas de decomposição de serrapilheira do que a BRS Quênia.

A população de micro-organismos decompositores no solo também exerce importante papel na ciclagem de nutrientes via serrapilheira. Mei et al. (2022), em estudo com gramíneas de clima temperado, concluíram que os fungos micorrízicos podem acelerar a decomposição de serapilheira e encurtar os ciclos de C, N e P. Schroeter et al. (2022) sugeriram que as bactérias secretam uma variedade de antibióticos naturais, para competir contra outras bactérias ou fungos dentro da comunidade decompositora de serrapilheira, e essa pressão competitiva provavelmente leva à constante adaptação e otimização do funcionamento desta comunidade de micro-organismos.

O manejo do pastejo, notoriamente a pressão de pastejo, pode afetar a via de ciclagem de nutrientes, podendo ser via serrapilheira ou via excretas (fezes e urina). De acordo com Dubeux Jr. e Sollenberger (2020), o superpastejo favorece maior ciclagem de nutrientes via excretas, enquanto o subpastejo favorece maior ciclagem de nutrientes via serrapilheira (Figura 1). Os nutrientes reciclados via serrapilheira são distribuídos de maneira mais uniforme na superfície da pastagem, além das perdas de nutrientes serem menores, principalmente de N, em comparação com aqueles retornados via excretas.

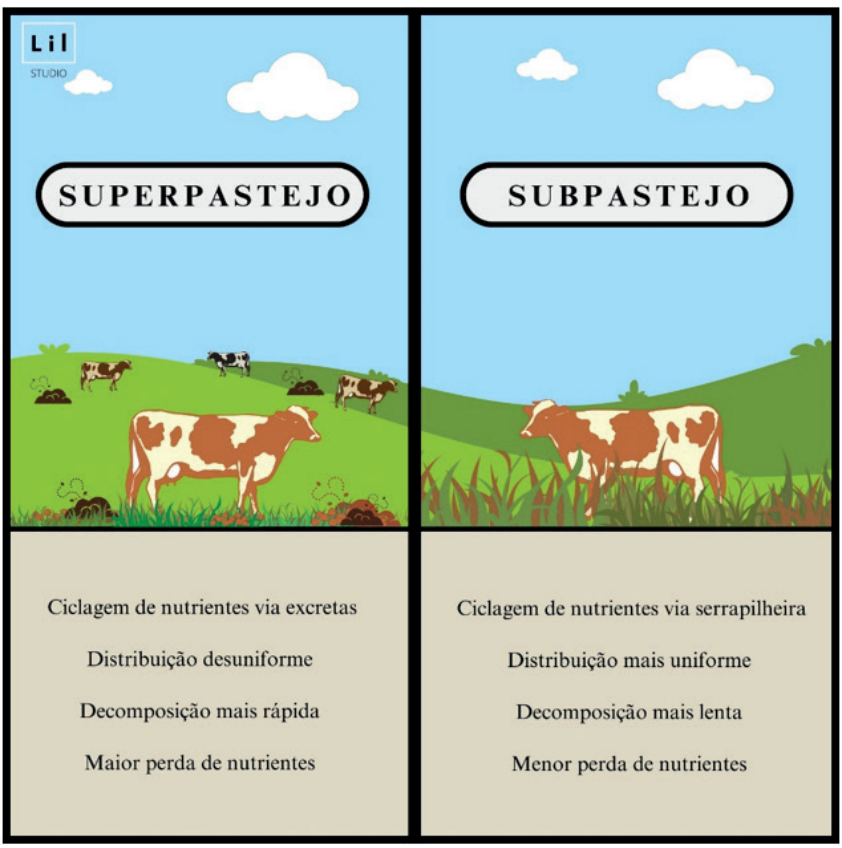

Figura 1. Influência do manejo de pastejo na ciclagem de nutrientes.

Para maior ciclagem de nitrogênio via serrapilheira, em pastos consorciados de Capim-marandu (*Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) R.D. Webster) e Amendoim forrageiro cv. Mandobi, Gomes et al. (2020) recomendaram manejo

de pastejo com interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (IRFA) de no máximo 95%. No estudo de Depablos et al. (2021), em pastos de Capim-marandu e calopogônio (*Calopogonium mucunoides* Desv.), recomendou-se o critério de desfolhação de 90%95% de IRFA (maior frequência de pastejo), com altura de resíduo pós-pastejo de 15 cm. Utilizando manejo com alturas pré- e pós-pastejo de 20 cm e 10 cm, respectivamente, Cardoso (2019) verificou mais alta taxa de deposição de serapilheira e com maior concentração de N, no segundo ano do estudo, em pastos consorciados de *U. decumbens* e *A. pintoi* cv. Belmonte (IRFA entre 91,3%-93,5%), relativamente ao monocultivo de gramínea (IRFA de 89,7%), evidenciando a capacidade desta leguminosa em promover maior incremento de nitrogênio aos sistemas e aumentar as possibilidades de retorno de N ao solo.

O espaçamento de plantio da leguminosa e a intensidade de pastejo também podem alterar a composição química e a taxa de decomposição da serrapilheira. Avaliando diferentes espaçamentos de plantio e duas intensidades de pastejo (5 e 15 cm), em pastos consorciados de *U. decumbens* e *A. pintoi* cv. Belmonte, Menezes (2017) observou maior concentração de N e menor relação C:N na serrapilheira de pastos com 40 cm de espaçamento e 5 cm de resíduo pós-pastejo, porém, o manejo a 15 cm possibilitou maior taxa de decomposição da serrapilheira, independentemente do espaçamento.

Outra questão é que, em áreas de pastejo, espera-se ciclagem de maior quantidade de nutrientes do que em áreas para corte, seja uma capineira ou uma área de produção de silagem ou de feno, em razão das plantas nessas áreas serem colhidas mais próximas ao nível do solo, deixando-se resíduo muito baixo para produção de serrapilheira, além de não contarem com a ciclagem de nutrientes via excretas de animais. Assim, maiores cuidados devem ser tomados em relação a reposição de nutrientes nessas áreas, em razão da elevada extração de minerais do solo (Gomide, 1997).

Embora a serapilheira vinda da parte aérea de plantas forrageiras seja mais frequentemente estudada, as raízes e os rizomas das plantas também apresentam potencial diferenciado para decomposição e ciclagem de nutrientes, como demonstrado no trabalho de Santos et al. (2022), que relataram redução na relação C:N, em raízes e rizomas de *Arachis glabrata*, e rápida decomposição desses órgãos, ao longo de 168 dias de incubação.

A combinação de serapilheira acima e abaixo do solo aumenta o pool de N disponível e contribui para sua absorção pela planta (Sollenberger e Dubeux Jr., 2022). No estudo de Santos et al. (2019), assumindo a participação de 30% de Amendoim rizomatoso na composição botânica da pastagem, estimou-se contribuição anual de

22 kg N ha^{-1}, somente com a participação de raízes e rizomas. Além disso, as raízes apresentam potencial contribuição para o aumento no estoque de carbono dos solos (Segnini et al., 2019).

Práticas de manejo de pastagens, como adubação e manejo do pastejo, podem interagir e alterar a produção, a qualidade e a taxa de decomposição das raízes. Silva et al. (2015) observaram que, quando os pastos não receberam adubo nitrogenado, o aumento na taxa de lotação proporcionou incremento linear na decomposição de raízes, e destacaram que o incremento da dose N pode aumentar a concentração e a liberação de N da raiz. Por outro lado, o baixo *input* de N pode reduzir a taxa de decomposição da raiz e aumentar o armazenamento de carbono, atuando como um dreno do CO_2 atmosférico.

A pressão de pastejo exerce importante efeito sobre o sistema radicular, especialmente em condições de superpastejo, que reduz a biomassa de raízes, e, consequentemente, a absorção de nutrientes. De acordo com Leithead (1979), a remoção excessiva da parte aérea reduz o crescimento e a substituição das raízes, diminuindo a capacidade de plantas para colher energia solar e umidade do solo. Por outro lado, o pastejo moderado causa pouca redução no crescimento das raízes ou do vigor da planta.

Ressalta-se que o manejo do pastejo deve ser realizado com base em critérios científicos definidos, para que condições de super ou subpastejo não ocorram, utilizando-se como critério a altura pré-pastejo correspondente a até 95% da IRFA, e, deixando-se resíduo pós-pastejo com altura próxima a 50% da altura de pré-pastejo.

Metodologias para amostragens de serrapilheira

Método manual

A amostras de serrapilheira existente podem ser coletadas diretamente sobre o solo, com auxílio de uma moldura de barbante ou de ferro, com dimensões de 50 cm x 50 cm (Figura 2), retirando-se todo o material vegetal existente dentro dos limites da moldura. Ressalta-se que, com uso de moldura de ferro, o local inicialmente amostrado deve ser demarcado com estacas, para posterior colheita da serrapilheira depositada no mesmo local. As amostras devem ser acondicionadas em sacos de papel e, posteriormente, deixadas em estufa com circulação forcada de ar, a 55 ^{o}C, até massa constante.

Método do coletor

É a metodologia comumente utilizada para avaliar a deposição de serrapilheira em sistemas de produção com vegetação arbórea e arbustiva, pois permite quantificar o material aportado em uma pequena área, que posteriormente será convertido para t/ha/ano (Scoriza et al., 2012).

Alguns aspectos importantes devem ser levados em consideração, como é o caso do número de coletores instalados em determinada área. Na literatura, encontram-se registros variando de 10 a 60 coletores por tratamento (Silva et al., 2007; Aquino et al., 2016). Já o formato dos coletores pode ser quadrado ou circular (Figura 3), sendo o quadrado mais utilizado (Inkotte et al., 2019). As dimensões variam de 0,02 m^2 até 1 m^2. Vale ressaltar, que os diferentes formatos e dimensões podem implicar em alterações na amostragem da serrapilheira aportada, facilitando ou dificultando a retenção dos materiais vegetais pelos coletores.

Figura 2. Coleta de serrapilheira com moldura de ferro em pastagem de Capimbraquiária (*U. decumbens*) consorciado com Calopogônio (*C. mucunoides*) (a) e com moldura de barbante em vegetação natural do Bioma Cerrado (b).

Foto: (a) C. S. Chaves (2018). Fonte: (b) Silva (2018).

Figura 3. Coletores comumente utilizados para avaliação do aporte de serrapilheira: coletor quadrado (a) e coletor circular (b) em pastagem de Capim-braquiária (*U. decumbens*) consorciado com Sabiá (*Mimosa caesalpiniifolia* Benth.)

Fotos: (a) D. V. Pessoa e (b) P. M. Oliveira Neto (2017).

Além da quantificação do aporte total anual, pode ser realizada a separação dos materiais vegetais em diferentes frações, de acordo com sua composição anatômica (folhas, ramos, estruturas reprodutivas e miscelânea), com o objetivo de identificar a contribuição de cada fração da serrapilheira no aporte total (Figura 4). As folhas contribuem com a maior fração, com valores em torno de 75%, e os ramos com valores abaixo de 20% (Inkotte et al., 2019).

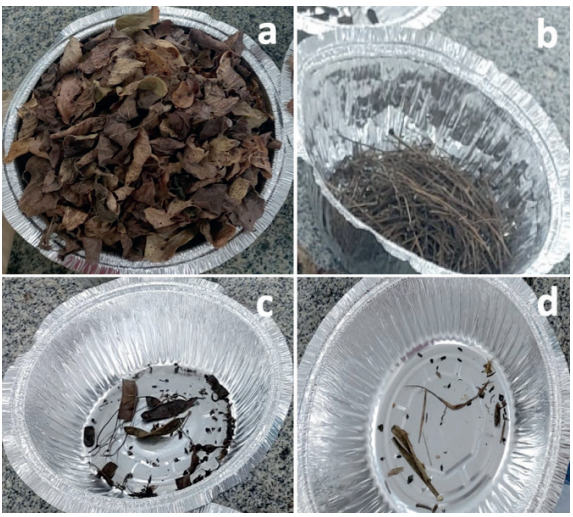

Figura 4. Fracionamento da serrapilheira: folhas (a), ramos (b), estruturas reprodutivas (c) e miscelânea (d) de sabiá (*Mimosa caesalpiniifolia*) consorciado com capim-braquiária (*U. decumbens*).

Fonte: Pessoa (2022).

Metodologias para amostragens de raízes

Diversos estudos têm ressaltado a influência do sistema radicular de plantas forrageiras sobre a disponibilidade e mobilidade de nutrientes no solo, favorecendo a ciclagem e reduzindo as perdas de nutrientes (Almeida e Rosolem, 2016; Nuñez et al., 2018). Em pastagens, as raízes são amplamente associadas ao estoque de carbono no solo e geralmente a serrapilheira derivada das raízes finas se decompõem duas vezes mais lentamente do que a serrapilheira derivada das folhas (Freschet et al., 2013).

Entretanto, poucos estudos têm sido realizados, devido à complexidade das metodologias utilizadas para os estudos de raízes. O que se busca é identificar, dentre os diversos métodos de avaliação de biomassa de raízes, aquele que permita avaliar o sistema radicular de forma representativa e confiável, e que apresente fácil operacionalidade. A seguir, discutiremos a respeito dos principais métodos diretos de amostragem e avaliação da biomassa de raízes e da distribuição do sistema radicular no perfil do solo: monólito, trado e escavação.

Método dos monólitos

O método dos monólitos possibilita uma avaliação quantitativa do sistema radicular, por meio da coleta de blocos de solo, através da inserção de uma moldura até a profundidade desejada, seguida de incisão horizontal do solo, com o auxílio de uma chapa de ferro, e a retirada de camada de solo com volume conhecido (Böhm, 1979). O processo é seguido por peneiramento, lavagem e classificação das raízes, de acordo com o diâmetro, em grossas (>10 mm), médias (5-10 mm), pouco finas (2-5 mm) e finas (<2 mm). Por meio desse método, é possível avaliar a distribuição horizontal e vertical do sistema radicular, bem como estimar a biomassa radicular.

A amostragem feita por esse método pode ser combinada com a análise das raízes por meio de um escâner de mesa, o qual estima o comprimento total da amostra de raízes, permitindo que seja calculada a razão entre o comprimento estimado e a massa de raízes secas (Vasconcelos et al., 2003; Ratke et al., 2019).

Método do trado ou cilindro de ferro

Por meio do método do trado, as amostras de raízes são colhidas com o auxílio de um trado de diâmetro e altura conhecidos e a base serrilhada, que favorece o corte do solo e a retirada da amostra (Fujiwara et al., 1994).

As amostras de raízes também podem ser colhidas através de um cilindro de ferro de dimensões conhecidas (Figura 5). O cilindro é enterrado no solo com o auxílio de uma marreta. Esse método permite a avaliação do desenvolvimento do sistema radicular de forma mais rápida, uma vez que não requerer a abertura de trincheiras, mas não é indicado para solos pedregosos ou compactados, e limitado para estimar a biomassa de raízes grossas (> 2 mm) (Levallian et al., 2011).

Figura 5. Coleta de amostra de raízes utilizando o cilindro de ferro.
Foto: A. J. dos Anjos (2018).

Escavação

Por meio do método da escavação, é possível quantificar e avaliar a distribuição do sistema radicular no perfil do solo. Com este método, as raízes são expostas no perfil do solo, após remoção cuidadosa do solo, realizada com auxílio de jatos de ar ou de água, ou de um rolo escarificador, para evitar danos às raízes (Böhm, 1979). Assim como o método do monólito, sua adoção demanda maior tempo e mão de obra. A depender do objetivo dos estudos, o perfil pode ser tingido com tinta *spray* e posteriormente lavado, para que a tinta seja removida do solo, permanecendo apenas nas raízes, facilitando, assim, a obtenção de imagens (Vasconcelos et al., 2003).

Conforme ressaltado por Dubeux et al. (2017), em estudo avaliando o sistema radicular em sete acessos de Amendoim rizomatoso (cultivares: Arbrook, Arblick, Ecoturf, Florigraze, Latitude 34, UF Peace e UF Tito), podem ocorrer diferenças na magnitude da produção de biomassa de raízes, em estudos avaliando as mesmas cultivares, o que pode ser atribuído a diversos fatores como manejo (área manejada sob pastejo ou não), tempo de crescimento da planta desde o seu estabelecimento e condições ambientais.

Assim, a escolha do método de amostragem de raízes deve levar em consideração o tamanho e a heterogeneidade da área, para que sejam colhidas

amostras representativas, a época do ano, considerando-se o efeito das variações climáticas e fenológicas sobre a biomassa de raízes, e, a disponibilidade de equipamentos e de mão de obra.

Ensaios de decomposição de serrapilheira e raízes: método *litter bag*

O método mais utilizado em ensaios que avaliam o processo de decomposição de resíduos vegetais (serrapilheira e raízes) é o *litter bag* ou "bolsa de decomposição" (Figura 6). Nesse método, os resíduos são acondicionados em sacos de nylon, sem trituração previa, e incubados sobre o solo (serrapilheira da parte aérea), ou enterrados (raízes), sendo submetidos à ação de micro-organismos decompositores do solo ao longo de diferentes tempos. A partir da diferença entre a biomassa inicial e a biomassa final contida nos sacos, após determinado tempo de incubação, a biomassa decomposta é quantificada. Posteriormente, por meio de uma equação, é obtida a taxa de decomposição relativa (*k*) do material (Wieder; Lang, 1982).

Figura 6. *Litter bags* (a), incubação de amostras de serrapilheira (a) e de raízes (b), em pastos de capim-braquiária (*U. decumbens*) adubado ou consorciado com calopogônio (*C. mucunoides*).

Foto: D. N. Coutinho (2018).

As dimensões do saco de nylon podem variar com o tipo de resíduo e a metodologia utilizada, sendo convencionalmente usado 0,25 mg de resíduo por cm^2. Assim, para um ensaio de decomposição de raízes, utilizando sacos medindo 15 x 30 cm, seriam necessários 11,25 g de raízes. A abertura das malhas tem interferência direta na decomposição, uma vez que suas dimensões determinará a entrada ou não da fauna edáfica decompositora (Setala; Marshall; Trofymow, 1996). Sendo assim, a confecção de sacos com poros maiores que 2 mm pode gerar perdas de material, durante seu transporte, e ocasionar erros nas determinações da decomposição.

Quanto aos tempos de incubação, estudos com serrapilheira de parte aérea têm sido conduzidos com 128 ou 256 dias de incubação (Kohmann, et al., 2019; Apolinário et al., 2014), e com 512 dias ou dois anos de incubação, para aqueles

que avaliam raízes (Silva et al., 2015; Gang et al., 2018), a depender da qualidade estimada do material, da disponibilidade de recursos e da mão de obra.

Deposição e decomposição de serrapilheira em pastagens de gramínea exclusiva ou consorciada com leguminosa

O solo possui uma grande reserva de nutrientes no ambiente pastoril e a serrapilheira é uma importante via de retorno de nutrientes ao solo nesses ambientes. Segundo Froufe et al. (2020), mais de 50% de todos os nutrientes da serrapilheira, principalmente de folhas, podem estar disponíveis em menos de 1 ano. Essa disponibilidade parece ser semelhante para diferentes sistemas de produção, ou seja, não há diferença entre o sistema convencional de pastejo, sistema silvipastoril e a floresta estacional, em relação ao processo de decomposição, sendo maior apenas na Mata (Marcondelli, 2019). A sincronicidade entre a decomposição da serrapilheira e a produção vegetal determina a eficiência ótima de decomposição, mineralização e absorção de nutrientes pelas plantas, reduzindo as perdas de nutrientes e a poluição ambiental, principalmente sob condições tropicais (Myers et al., 1997).

A quantidade de serrapilheira que cai ao solo pode variar com a pressão de pastejo, com maiores deposições de serrapilheira quando a pressão de pastejo é menor (Apolinário et al., 2013), e, com a frequência de desfolhação, em que, quando mais alta, induz ao aumento da deposição de serrapilheira (Gomes et al., 2020). Desta forma, o manejo da pastagem pode afetar a dinâmica da serrapilheira (Ramalho et al., 2019; Sollenberger et al., 2019; Debablos et al., 2021) e a sua qualidade, que por sua vez influencia a dinâmica de nutrientes nas pastagens (Liu et al., 2011).

A qualidade da serrapilheira pode ser definida como a composição química e a natureza dos compostos químicos que podem afetar o processo de decomposição da serrapilheira (Dubeux et al., 2020). Assim, a decomposição da serrapilheira, quando a temperatura e a umidade estão adequadas (mais altas), irá depender de indicadores de qualidade da serrapilheira, como as concentrações de N, de NIDA (nitrogênio insolúvel em detergente ácido) e de polifenóis, e as relações carbono:nitrogênio (C:N) e lignina:N (Apolinário et al., 2014; Apolinário et al., 2017; Kohmann et al., 2018; Kohmann et al., 2020).

O processo de decomposição da serrapilheira ocorre em duas etapas: a primeira, de 1 a 2 meses, na qual ocorre a perda de compostos solúveis, e, a segunda, quando ocorre o ataque aos compostos fenólicos, pelos micro-organismos do solo, o que pode perdurar durante anos, dependendo da qualidade do material (Waksman,

1952). Esse fato foi constatado por Pariz et al. (2016), que avaliaram a decomposição de serrapilheira de capim-braquiária (*U. decumbens* cv. Basilisk) e verificaram que a decomposição foi exponencial, com 70%-80% e 25%-40% de material remanescente, aos 30 e 150 dias de incubação, respectivamente.

Segundo Cotrufo et al. (2013), a serrapilheira de "alta qualidade" se decompõe mais rapidamente (ou seja, é mais lábil), enquanto a serrapilheira de "baixa qualidade" se decompõe mais lentamente (ou seja, é recalcitrante). De acordo com Thomas (1992), em serrapilheira de mais elevada relação C:N (> 30:1), os microrganismos que a decompõem "competem" com as plantas da pastagem pelos nutrientes do solo, levando à "imobilização" dos nutrientes. Geralmente, a serrapilheira de gramíneas de clima tropical é de mais difícil e lenta decomposição, devido a sua baixa concentração de N, alta concentração de NIDA e elevada relação C:N e lignina:N.

Estratégias de manejo de pastagens que melhoram a qualidade da serapilheira, como a adubação nitrogenada ou o uso de leguminosas forrageiras, podem promover a decomposição da serapilheira e aumentar a disponibilidade de nutrientes para a forragem (Apolinário et al., 2014; Gomes et al., 2020; Homem et al., 2021). No estudo realizado por Liu et al. (2011), foi comprovado que o aumento da dose de adubo nitrogenado, de 50 para 250 kg N ha^{-1} ano^{-1}, ocasionou aumento no teor de N (12 para 19 g N kg^{-1}) e na taxa de decomposição (22% para 55%), e, reduziu a relação C:N (43 para 26) na serrapilheira de grama-bermuda 'Tifton 85' [*Cynodon dactylon* (L.) Pers × *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst].

Para o Capim-marandu, sob lotação contínua, Homem et al. (2021) relataram que a fertilização nitrogenada aumentou a concentração de N e reduziu a relação C:N da serapilheira, resultando em mais altas taxas de decomposição da serapilheira em pastagens adubadas. Já para o Capim-marandu, sob lotação intermitente, consorciado com Amendoim forrageiro ou em monocultura, recebendo ou não adubação nitrogenada, Longhini et al. (2021) encontraram menor relação C:N em serrapilheira do pasto recebendo adubação nitrogenada, em relação à monocultura sem adubo nitrogenado e ao consórcio (34, 45 e 58, respectivamente), contudo, a fertilização nitrogenada em capim-marandu não interferiu na taxa de decomposição.

No diferimento de pastejo de Capim-braquiária, em dois anos, Chaves (2020) observou que tanto as doses nitrogênio (0, 50 e 100 kg ha^{-1} ano^{-1}), aplicadas antes da vedação dos pastos (por 98 e 70 dias), quanto o consórcio de gramínea e Calopogônio (10% na MS), não alteraram a relação C:N na serrapilheira, cujo valor médio inicial foi de 40, atingindo 23, após o período de incubação. Ressalta-se a necessidade de ressemeadura a cada um ou dois anos desta leguminosa, com

a finalidade de aumentar seu percentual nos pastos consorciados e melhorar a qualidade da serrapilheira.

Pastagens consorciadas de gramínea e leguminosa podem aumentar a fertilidade do solo e a sustentabilidade das pastagens, devido a fixação biológica de N (FBN) e a deposição de serapilheira de melhor qualidade (Kohmann et al., 2018), incluindo as leguminosas arbustivas ou arbóreas, que aumentam a disponibilidade de nutrientes por meio da produção de forragem, de serapilheira e sua subsequente decomposição. Como demonstrado por Xavier et al. (2011), o consórcio das leguminosas arbóreas Acácia (*Acacia mangium* Willd.) e Jurema-branca (*Mimosa artemisiana* Heringer & Paula) e Capim-braquiária cv. Basilisk aumenta a produção de serrapilheira (21 kg ha^{1} ano^{-1} MS), em comparação ao monocultivo de gramínea (16 kg ha^{-1} ano^{-1} MS). O consórcio com essas leguminosas também aumenta a concentração de N na serrapilheira (média anual de 10,5 g kg^{-1}), em comparação com o monocultivo (média anual de 6,6 g kg^{-1}).

Em relação a FBN, Apolinário et al. (2015) avaliaram a deposição de serapilheira em sistema silvipastoril (SPS) para Gliricídia [*Gliricidia sepium* (Jacq.)] e Sabiá (*Mimosa caesalpiniifolia* Benth.) e encontraram entrada de N, via FBN, de 110 kg N ha^{-1}, para gliricídia, e, 163 kg N ha^{-1}, para sabiá, durante o período experimental de 18 meses. O N biologicamente fixado pode ser reciclado por meio da deposição de serapilheira e estar disponível para o crescimento da planta consorciada após a sua mineralização da serapilheira (Costa et al., 2016).

Em revisão de literatura, Cotrufo et al. (2013) relataram que mais de 50% do N, em consórcios, podem derivar de leguminosas fixadoras de N. Assim, Kohmann et al. (2018) demonstraram que, devido às taxas de deposição de serapilheira semelhantes entre os tratamentos estudados (10,5 kg ha^{-1} d^{-1}), a maior concentração inicial de nitrogênio (N) e menor relação C:N, na serrapilheira de pastos consorciadas de Amendoim rizomatoso e Capim-bahia (*Paspalum notatum* Flüggé), em comparação a monocultivo de Capim-bahia, adubado (50 kg N ha^{-1}) ou não com nitrogenio, resultou em decomposição mais rápida e maior liberação de N via serapilheira no consórcio (44 kg ha^{-1}), em relação à monocultura de gramínea, adubada ou não (26 kg ha^{-1}).

O cálculo da contribuição do N na serrapilheira pode ser estimado com base na taxa de deposição de serrapilheira e na sua concentração de N durante o ciclo de pastejo, de acordo com a equação: N liberado (kg N ha^{-1} ciclo^{-1}) = taxa de deposição de serrapilheira (kg ha^{-1}) x concentração de N (g N kg^{-1} de serrapilheira) x tempo. Na Tabela 1, são registrados alguns resultados da liberação de N em diferentes sistemas de cultivo.

Espécies leguminosas podem apresentar diferenças na qualidade da serrapilheira produzida. Além disso, o sistema de cultivo também influencia na deposição e na decomposição da serrapilheira, por exemplo, os sistemas integrados. A presença de leguminosas arbóreas em sistemas silvipastoris (SPS) pode afetar a produção e a qualidade da serapilheira e as características e a distribuição da matéria orgânica (MO) do solo (Herrera et al., 2020). A Gliricídia apresentou maior concentração de N e menor relação C:N (28 g kg^{-1} MS e 17), quando comparada a Sabiá (18 g kg^{-1} MS e 25) e Capim-braquiária cv. Basilisk (11 g kg^{-1} MS e 43 C:N), respectivamente. Nesse caso, a Gliricídia contribuiu para uma decomposição mais rápida das folhas senescentes e a liberação de nutrientes para o solo em mais curto prazo, acelerando a ciclagem de nutrientes. Já a Sabiá, devido a maiores concentrações de lignina, taninos e nitrogênio insolúvel em detergente ácido, contribuiu com o retorno mais lento dos nutrientes ao solo, porém, apresenta potencial para formar matéria orgânica do solo mais estável ao longo do tempo (Herrera et al., 2020).

Tabela 1. Quantidade de nitrogênio liberado, via serrapilheira, em pastagens, adubadas ou não, e consorciadas com leguminosas

Autores	kg N ha^{-1} $ciclo^{-1}$		
	Monocultivo adubado	Monocultivo não adubado	Consórcio
Apolinário et al. (2016)	-	-	87-109
Homem et al. (2021)	13	41	33
Longhini et al. (2021)	60	33	32
Debablos et al. (2021)	-	-	205

Esses benefícios também são observados em leguminosas herbáceas, como Calopogônio. Silva et al. (2012) verificaram que a decomposição da serrapilheira foi maior no consórcio do Capim-braquiária cv. Basilisk e Calopogônio, em comparação com capim-braquiária em monocultivo. Pereira et al. (2016) avaliaram a liberação de N da serrapilheira de diferentes leguminosas herbáceas e encontraram a seguinte ordem decrescente: *Crotalaria spectabilis* Roth > C*anavalia ensiformes* (L.) DC. > *Crotalaria juncea* L. > *Cajanus cajan* (L) Millsp. > *Dolichos lablab* L. > *Mucuna deeringiana* Bort. Esses autores relataram que a maior parte do N nas primeiras espécies pode estar ligada a compostos mais facilmente decomponíveis.

Assim, tanto o manejo da pastagem, quanto a adoção do consórcio de gramínea e leguminosa em ambientes pastoris, são hoje práticas necessárias para garantir a deposição e decomposição da serrapilheira, podendo melhorar a reciclagem de nutrientes nessas áreas.

Produção e decomposição de raízes em pastagens de gramínea exclusiva ou consorciada com leguminosa

A decomposição dos resíduos vegetais tem importante papel na ciclagem de nutrientes e na fertilidade do solo, por meio da liberação de nutrientes, seguida da sua utilização pelas plantas e micro-organismos (Dubeux & Sollemberger, 2019). Fatores relacionados à fauna e microflora do solo (Tresch et al., 2019), à composição química do material vegetal (teores de N, P, polifenóis, lignina, relações C:N e lignina:N) (Dubeux & Sollemberger, 2019), às práticas de manejo (taxa de lotação, fertilização) (Apolinário et al., 2017; Silva et al., 2019), e às condições de temperatura e umidade ambientais (Volaire et al., 2014; Chen et al., 2017), têm efeito direto sobre a decomposição de raízes, bem como sobre o fluxo de nutrientes entre os diferentes compartimentos, afetando suas absorções pelas plantas.

As raízes finas, que possuem diâmetro inferior a 2 mm, constituem de 22% a 67% da produtividade primária anual das plantas, e estão envolvidas nos ciclos biogeoquímicos de C e N (Beidler et al., 2017), atuando na entrada de C no solo por meio de seus exsudatos (Sokol et al., 2018), da serrapilheira de raízes e da biomassa morta de fungos e bactérias que atuam na sua decomposição (Beidler et al., 2017). Por possuírem curto tempo de vida útil, as raízes finas são uma importante fonte de N para as plantas e os micro-organismos do solo (Silva et a., 2019), enquanto as raízes grossas, por frequentemente apresentarem menores concentrações de N e maiores relações C:N e lignina:N do que as raízes finas, apresentam mais lenta taxa de decomposição e estão relacionadas com a estocagem de carbono no solo (Jani et al., 2015). Entretanto, diversos fatores estão relacionados com a dinâmica de formação da matéria orgânica do solo e possuem reflexo direto sobre o estoque de C no solo e suas transformações, dentre eles, quantidade, qualidade e distribuição de resíduos vegetais (serrapilheira e raízes) no solo, condições edafoclimáticas, adubação, preparo do solo, queimadas, bem como formas de uso da terra (Jackson et al., 2017).

Avaliando os efeitos da estrutura do solo sobre a decomposição da serrapilheira, Witzgall et al. (2021) observaram que os resíduos vegetais contidos nos poros de solos de textura grosseira (solos francoargiloarenosos) são mais facilmente acessados pelos micro-organismos decompositores, o que favorece sua decomposição. Em pastos produtivos de *U. decumbens* e *U. brizantha*, em solos com diferentes teores de argila, Braz et al. (2013) estimaram estoques de C nas raízes variando entre 6 e 47 Mg C ha^{-1}, para solos com 11% e 67% de argila, respectivamente, verificando que, em solos mais argilosos, o resíduo se encontra protegido no interior

dos microporos, dificultando a atividade de micro-organismos e reduzindo a taxa de decomposição, o que leva a um maior estoque de C nas raízes.

A forma de introdução de N no sistema, via adubação química ou fixação biológica, assim como sua dose anual, podem afetar sua dinâmica. Baixo *input* de N pode favorecer o estoque de C no solo, uma vez que reduz a taxa de decomposição de raízes (Silva et al., 2015), que seria limitada pela baixa disponibilidade de compostos lábeis contidos nos resíduos (Pries et al., 2018). Entretanto, em estudo da decomposição de raízes em pastos vedados de *U. decumbens* adubada com doses crescentes de N (0, 50 e 100 kg^{-1} ha^{-1} ano^{-1} de N) ou consorciada com Calopogônio (10% na MS), Coutinho (dados não publicados) não observou diferença na taxa de decomposição relativa entre os diferentes sistemas de cultivo, os quais apresentaram, em média, liberação potencial de 21 kg ha^{-1} de N, após 512 dias de decomposição.

No estudo de Santos et al. (2018), avaliou-se a biomassa de raízes e rizomas de acessos de *P. notatum* (adubada com dose de 90 kg N ha^{1} ano^{-1}) e *A. glabrata*, em monocultivos ou consorciados, ao longo de dois anos, e não observaram-se diferenças na biomassa de raízes+rizomas, entre os pastos adubados e consorciados, indicando o uso eficiente do N, fixado biologicamente pela leguminosa, no incremento de biomassa radicular.

Em pastos de Capim-braquiária cv. Basilisk adubados com doses crescentes de nitrogênio (0, 150 e 300 kg N ha^{-1}) e manejados sob diferentes taxas de lotação (2, 3,9 e 5,8 UA ha^{-1}), Silva et al. (2019) observaram decomposição de ~71% da biomassa de raízes incubada, e estimaram que ~65 kg N ha^{-1} foi liberado para o meio ambiente, após 512 dias de decomposição.

No estudo de Silva et al. (2015), avaliando a decomposição de raízes de Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum., genótipo 381), ao longo de dois períodos de 512 dias, estimou-se a liberação potencial de 87, 120 e 131 kg N ha^{-1} para o solo, na camada de 0-20 cm, em pastagens adubadas com 0, 150 e 300 kg N ha^{-1} de N, respectivamente. Houve maior decomposição das raízes no segundo período, o que foi atribuído à melhor qualidade do material (mais alta concentração de N, mais baixa concentração de lignina e mais altas relações C:N, lignina:N e lignina:NIDA), associada à maior precipitação pluviométrica. Segundo Apolinário et al. (2014), a lixiviação de constituintes solúveis dos resíduos contribui para as perdas de biomassa no período inicial de decomposição.

Embora sejam ainda escassos os estudos com raízes, fica evidente o papel fundamental que o sistema radicular desempenha em diversos processos relacionados ao acúmulo de carbono orgânico no solo e à ciclagem de nutrientes

no ecossistema de pastagens, também influenciados pelas condições ambientais, práticas de manejo aplicadas e as interações existentes entre os processos.

Deposição e decomposição de serrapilheira de parte aérea e produção de raízes de plantas de metabolismo ácido das crassuláceas (CAM)

A palma forrageira tem sido uma importante alternativa para a alimentação do gado em regiões áridas e semiáridas, caracterizadas por longos períodos de estiagem (Edvan et al., 2020). A presença do metabolismo ácido crassulaceano (CAM) proporciona maior eficiência no uso da água (100150 kg de água por kg de matéria seca) para a palma forrageira, que é aproximadamente seis vezes mais eficiente que outros vegetais e quase três vezes mais eficiente que as gramíneas (Nunes et al., 2017).

Plantas com metabolismo ácido crassuláceo depositam menos serapilheira, no entanto, Camelo et al. (2021) relataram que a palma forrageira contribui para a deposição de raízes e exsudatos radiculares, por ser perene e manter seu sistema radicular ativo ao longo dos anos. Bariagabre et al. (2016) demonstraram uma tendência de declínio no carbono orgânico do solo a partir da cobertura do dossel da palma forrageira para áreas abertas adjacentes, o que pode ser devido ao fato dessas plantas terem a capacidade de capturar materiais finos do solo e detritos vegetais e depositá-los sob seu dossel, alem de outros processos, como acúmulo de serrapilheira sob a copa da palma. Os autores também observaram que a concentração de nitrogênio total no solo foi 77% superior na área de cobertura do dossel da palma forrageira, relativamente a áreas de solo adjacentes, e sugeriram que este resultado pode estar associado à abundância de micro-organismos do solo que facilitam a decomposição de materiais orgânicos.

Em estudos conduzidos por Hassan et al. (2019), avaliando o crescimento de *Opuntia ficus-indica* Mill submetida a restrições de volume de solo (5, 9, 18, 33 e 55 L), ao longo de dois anos, observou-se maior taxa de renovação das raízes e estocagem de carbono orgânico no solo, nos sistemas em que a palma forrageira foi submetida a maior restrição, o que os autores consideraram como estratégia adaptativa da palma forrageira para sobrevivência em condições adversas, como as observadas em solos compactados, os quais representam uma barreira para o aprofundamento das raízes, em solos degradados e em solos rasos.

A densidade de plantio pode interferir na biomassa de raízes de plantas cactáceas. Por exemplo, em estudo com *Opuntia ficus-indica* 'IPA 20', em Pernambuco, Dubeux et al. (2013) avaliaram a massa de raízes e a parte aérea da palma forrageira submetida a níveis crescentes de fertilizante orgânico (0, 20, 40 e 80 mg ha^{1} MS de esterco) e quatro densidades de plantio (20.000, 40.000, 80.000 e 160.000 plantas ha^{1}). Os autores observaram redução na massa radicular com o aumento na população de plantas, variando de 136,5 g $planta^{-1}$ para 76,7 g $planta^{-1}$, com a menor e a maior densidade, respectivamente. Além disso, nas áreas em que a palma foi cultivada com as duas menores densidades, foi observada produção de cladódios basais mais pesados, sugerindo que baixas densidades de plantas favorecem o crescimento radicular e o acúmulo de reservas, conferindo às plantas maior tolerância à seca.

O desenvolvimento do sistema radicular em *O. ficus-indica* e *O. robusta* foi estudado por Snyman (2006), que relatou melhor desenvolvimento das raízes na camada de 50150 mm de solo. Segundo este autor, sistemas radiculares rasos e desenvolvidos horizontalmente favorecem a absorção de água e de nutrientes, em regiões com baixos índices pluviométricos e ocorrência de chuvas leves, como nas regiões áridas e semiáridas.

Estudos têm demonstrado as melhorias promovidas na qualidade do solo pela palma forrageira. Avaliando as concentrações de N total em solos descobertos ou cultivados com *O. ficus-indica*, foram reportados aumentos de 30% a 200% no teor de N, nos solos cultivados com palma forrageira, em comparação às áreas de solo descobertas (Nefzaoui et al., 2014; Bariagrabe et al., 2016).

Ressalta-se que as plantas CAM representam uma importante fonte não apenas de alimento e água para os animais em regiões áridas e semiáridas, mas também de nutrientes, devido aos serviços promovidos na interface solo-planta, possibilitando seu cultivo em solos com recursos limitados e prevenindo o avanço de processos degradativos, através de melhorias nas características físicas e químicas do solo.

Considerações Finais

A composição química e as taxas de deposição e de decomposição de serrapilheira e de raízes, e, consequentemente, a ciclagem de nutrientes, são afetadas por fatores bióticos e abióticos. Entre esses fatores, encontram-se os nutrientes, principalmente o nitrogênio, o manejo do pastejo e as condições climáticas.

A maior produtividade de forragem durante o ano, obtida com a reposição dos nutrientes extraídos do solo e com o manejo de pastejo adequado, observando-se o momento de interrupção da desfolhação e o resíduo pós-pastejo, incrementam a produtividade de forragem durante o ano, e, consequentemente, promovem maior deposição de serrapilheira de melhor qualidade.

A entrada de nitrogênio pode ser via fertilizante químico ou com uso de leguminosas forrageiras, cuja introdução em pasto exclusivo de gramínea não adubado proporciona a melhoria da qualidade da serrapilheira, o aumento na ciclagem de nitrogênio, e, consequentemente, a melhoria da fertilidade do solo, assim como uma dieta de melhor valor nutritivo aos animais em pastejo, com maior desempenho animal e melhor relação custo/benefício do sistema.

Referências

Almeida, D. S., Rosolem, C. A. (2016). Ruzigrass grown in rotation with soybean increases soil labile phosphorus. *Agronomy Journal,* 108: 2444–2452. https://doi.org/10.2134/agronj2015.0478

Apolinário, V. X., Dubeux Jr, J. C. B., de Andrade Lira, M., Sampaio, E. V., de Amorim, S. O., de Miranda e Silva, N. G., & Muir, J. P. (2016). Arboreal legume litter nutrient contribution to a tropical silvopasture. *Agronomy Journal*, 108(6): 2478-2484. https://doi.org/10.2134/agronj2016.02.0120

Apolinário, V. X., Dubeux Jr, J. C., Lira, M. A., Ferreira, R. L., Mello, A. C., Santos, M. V., Sampaio, E. V. S. B., Muir, J. P. (2015). Tree legumes provide marketable wood and add nitrogen in warm-climate silvopasture systems. *Agronomy Journal*, 107(5): 1915-1921. https://doi.org/10.2134/agronj14.0624

Apolinário, V. X., Dubeux Jr, J. C., Lira, M. A., Mello, A. C., Santos, M. V., Muir, J. P., & Viana de Freitas, E. (2017). Nitrogen and grazing affect napier grass leaf litter biomass and decomposition. *Agronomy Journal,* 109(6): 2982-2987. https://doi.org/10.2134/agronj2017.06.0308

Apolinário, V. X., Dubeux Jr, J. C., Mello, A. C., Vendramini, J. M., Lira, M. A., Santos, M. V., & Muir, J. P. (2013). Deposition and decomposition of signal grass pasture litter under varying nitrogen fertilizer and stocking rates. *Agronomy Journal*, 105(4): 999-1004. https://doi.org/10.2134/agronj2012.0433

Apolinário, V. X., Dubeux Jr, J. C., Mello, A. C., Vendramini, J. M., Lira, M. A., Santos, M. V., & Muir, J. P. (2014). Litter decomposition of signalgrass grazed with different stocking rates

and nitrogen fertilizer levels. *Agronomy Journal,* 106(2): 622-627. https://doi.org/10.2134/agronj2013.0496

Aquino, P. S. R., Nappo, M. E., Rodrigues, M. S., Pereira, I. M., Matricardi, E. A. T., & Pelá, G. D. M. (2016). Análise espacial da produtividade de serapilheira em uma mata de galeria. *Ciência Florestal*, 26: 489-500. https://doi.org/10.5902/1980509822749

Bariagabre, S. A., Asante, I. K., Gordon, C., & Ananng, T. Y. (2016). Cactus pear (Opuntia ficus-indica L.) a valuable crop for restoration of degraded soils in northern Ethiopia. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 6(8): 11-18.

Beidler, K. V., & Pritchard, S. G. (2017). Maintaining connectivity: understanding the role of root order and mycelial networks in fine root decomposition of woody plants. *Plant and Soil,* 420(1): 19-36. https://doi.org/10.1007/s11104-017-3393-8

Böhm, W. (2012). *Methods of Studying Root Systems* (Vol. 33). Springer Science & Business Media.

Bouwman, A. F., Lee, D. S., Asman, W. A., Dentener, F. J., Van Der Hoek, K. W., & Olivier, J. G. J. (1997). A global high-resolution emission inventory for ammonia. *Global Biogeochemical Cycles,* 11(4): 561-587. https://doi.org/10.1029/97GB02266

Braz, S. P., Urquiaga, S., Alves, B. J., Jantalia, C. P., Guimarães, A. P., dos Santos, C. A., dos Santos, S. C., Pinheiro, E. F. M., Boddey, R. M. (2013). Soil carbon stocks under productive and degraded Brachiaria pastures in the Brazilian Cerrado. *Soil Science Society of America Journal*, *77*(3): 914-928. https://doi.org/10.2136/sssaj2012.0269

Camelo, D., Dubeux Jr, J. C. B., dos Santos, M. V. F., Lira Jr, M. A., Fracetto, G. G. M., Fracetto, F. J. C., ... & de Freitas, E. V. (2021). Soil microbial activity and biomass in semiarid agroforestry systems integrating forage cactus and tree legumes. *Agronomy*, 11(8):1558. https://doi.org/10.3390/agronomy11081558

Cardoso, L. L. *Consórcio de capim-braquiária e amendoim forrageiro sob pastejo com ovinos*. 2019. 75 f. Tese (Doutorado) – Curso de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Chaves, C.S. *Diferimento de capim-braquiária adubado com nitrogênio ou consorciado com calopogônio*. 2020. 84 f. Tese (Doutorado) – Curso de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Chen, H., Mommer, L., Van Ruijven, J., De Kroon, H., Fischer, C., Gessler, A., Hildebrandt, A., Scherer-Lorenzen, M., Wityh, C. & Weigelt, A. (2017). Plant species richness negatively affects root decomposition in grasslands. *Journal of Ecology,* 105(1): 209-218. https://doi.org/10.1111/1365-2745.12650

Costa, S. B. D. M., Mello, A. C., Dubeux Jr, J. C., Santos, M. V., Lira, M. D. A., Oliveira, J. T., & Apolinário, V. X. (2016). Livestock performance in warm-climate silvopastures using tree legumes. *Agronomy Journal*, *108*(5): 2026-2035. https://doi.org/10.2134/agronj2016.03.0180

Cotrufo, M. F., Wallenstein, M. D., Boot, C. M., Denef, K., & Paul, E. (2013). The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter?. *Global Change Biology, 19*(4): 988-995. https://doi.org/10.1111/gcb.12113

Depablos, L., Homem, B. G., Ferreira, I. M., Bernardes, T. F., Boddey, R. M., Lara, M. A., & Casagrande, D. R. (2021). Nitrogen cycling in tropical grass-legume pastures managed under canopy light interception. *Nutrient Cycling in Agroecosystems,* 121(1): 51-67. https://doi.org/10.1007/s10705-021-10160-7

Dubeux Jr, J. C., Blount, A. R., Mackowiak, C., Santos, E. R., Pereira Neto, J. D., Riveros, U., Garcia, L., Jaramillo, D. M. & Ruiz-Moreno, M. (2017). Biological N2 fixation, belowground responses, and forage potential of rhizoma peanut cultivars. *Crop Science, 57*(2): 1027-1038. https://doi.org/10.2135/cropsci2016.09.0810

Dubeux Jr, J. C., & Sollenberger, L. E. (2020). *Nutrient Cycling in Grazed Pastures*. In Management Strategies for Sustainable Cattle Production in Southern Pastures (pp. 59-75). Academic Press.

Dubeux, J., Silva, N. G. M., Santos, M. V. F., Cunha, M. V., Santos, D. C., Lira, M. A., Mello, A. C. L., Pinto, M. S. C. (2013). Organic fertilization and plant population affect shoot and root biomass of forage cactus pear (*Opuntia ficus-indica* mill.). *Acta Horticulturae*, 995: 221-224.

Edvan, R. L., Mota, R. R. M., Dias-Silva, T. P., do Nascimento, R. R., de Sousa, S. V., da Silva, A. L., Araújo, M. J., Araújo, J. S. (2020). Resilience of cactus pear genotypes in a tropical semi-arid region subject to climatic cultivation restriction. *Scientific reports*, 10(1): 1-10. https://doi.org/s41598-020-66972-0

Freitas, C.A.S. *Consórcio de capim-braquiária e amendoim forrageiro: estabelecimento, composição e decomposição da serrapilheira*. 2015. 76 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Freitas, C.A.S. *Valor nutritivo, produção de leite e dinâmica de serrapilheira em pastos de Megathyrsus maximus.* 2019. 99 f. Tese (Doutorado) – Curso de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Freschet, G. T., Cornwell, W. K., Wardle, D. A., Elumeeva, T. G., Liu, W., Jackson, B. G., Onipchenko, V. G., Soudzilovskaia, N. A., Tao, J., Cornelissen, J. H. (2013). Linking litter

decomposition of above-and below-ground organs to plant–soil feedbacks worldwide. *Journal of Ecology*, 101(4): 943-952. https://doi.org/10.1111/1365-2745.12092

Froufe, L. C. M., Schwiderke, D. K., Castilhano, A. C., Cezar, R. M., Steenbock, W., Seoane, C. E. S., Bognola, I. A., Vezzani, F. M. (2020). Nutrient cycling from leaf litter in multistrata successional agroforestry systems and natural regeneration at Brazilian Atlantic Rainforest Biome. *Agroforestry Systems*, 94(1): 159-171. https://doi.org/10.1007/s10457-019-00377-5

Fujiwara, M.; Kurachi, S.A.H.; Arruda, F.B.; Pires, R.C.M. & Sakai, E. A técnica de estudo de raízes pelo método do trado. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1994. 9p. (Boletim Técnico, 153).

Gang, Q., Chang, S. X., Lin, G., Zhao, Q., Mao, B., & Zeng, D. H. (2019). Exogenous and endogenous nitrogen differentially affect the decomposition of fine roots of different diameter classes of Mongolian pine in semi-arid northeast China. *Plant and Soil*, 436(1): 109-122. https://doi.org/10.1007/s11104-018-03910-0

Gomes, F. D. K., Homem, B. G. C., de Oliveira, M. D. B. L., Dubeux Jr, J. C. B., Boddey, R. M., Bernardes, T. F., & Casagrande, D. R. (2020). Defoliation frequency affects litter responses and nitrogen excretion by heifers in palisadegrass–forage peanut pastures. *Agronomy Journal*, 112(4): 3089-3100. https://doi.org/10.1002/agj2.20240

Gomide, J.A. *Formação e utilização de capineira de capim-elefante*. 1997. In: Capim-elefante: produção e utilização (Editores: Carvalho, M.M.; Alvim, M.J.; Xavier, D.F.; Carvalho, L.A.). *Anais...*, Brasília, 1997. 219p.

Hassan, S., Inglese, P., Gristina, L., Liguori, G., Novara, A., Louhaichi, M., & Sortino, G. (2019). Root growth and soil carbon turnover in *Opuntia ficus-indica* as affected by soil volume availability. *European Journal of Agronomy,* 105, 104-110. https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.02.012

Herrera, A. M., Mello, A. C. L., Apolinário, V. X. D. O., Dubeux Júnior, J. C. B., Silva, V. J., Santos, M. V. F., & Cunha, M. V. (2020). Decomposition of senescent leaves of signalgrass (*Urochloa decumbens* Stapf. R. Webster) and arboreal legumes in silvopastoral systems. *Agroforestry Systems*, 94(6): 2213-2224. https://doi.org/10.1007/s10457-020-00542-1

Homem, B. G., de Lima, I. B. G., Spasiani, P. P., Guimarães, B. C., Guimarães, G. D., Bernardes, T. F., Rezende, C. P., Boddey, R. M., Casagrande, D. R. (2021). N-fertiliser application or legume integration enhances N cycling in tropical pastures. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 121(2): 167-190. https://doi.org/10.1007/s10705-021-10169-y

Inkotte, J., Martins, R. C. C., Scardua, F. P., & Pereira, R. S. (2019). Methods of evaluation of nutrient cycling in the Cerrado biome: a systematic review. *Ciência Florestal*, 29: 988-1003. https://doi.org/10.5902/1980509827982

Jani, A. D., Grossman, J. M., Smyth, T. J., & Hu, S. (2015). Influence of soil inorganic nitrogen and root diameter size on legume cover crop root decomposition and nitrogen release. *Plant and Soil,* 393(1), 57-68. https://doi.org/10.1007/s11104-015-

Kohmann, M. M., Sollenberger, L. E., Dubeux Jr, J. C., Silveira, M. L., Moreno, L. S., da Silva, L. S., & Aryal, P. (2018). Nitrogen fertilization and proportion of legume affect litter decomposition and nutrient return in grass pastures. *Crop Science*, 58(5): 2138-2148. https://doi.org/10.2135/cropsci2018.01.0028

Kohmann, M. M., Sollenberger, L. E., Dubeux Jr, J. C., Silveira, M. L., & Moreno, L. S. (2019). Legume proportion in grassland litter affects decomposition dynamics and nutrient mineralization. *Agronomy Journal*, 111(3): 1079-1089. https://doi.org/10.2134/agronj2018.09.0603

Leithead, H.L. 1979. *Grass: how it grows*. USDA-SCS Bulletin. U. S. Govt. Printing Office. 17pp.

Lemaire, G., Franzluebbers, A., de Faccio Carvalho, P. C., & Dedieu, B. (2014). Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190: 4-8. https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009

Levillain, J., Thongo M'Bou, A., Deleporte, P., Saint-André, L., & Jourdan, C. (2011). Is the simple auger coring method reliable for below-ground standing biomass estimation in Eucalyptus forest plantations?. *Annals of Botany, 108*(1): 221-230. https://doi.org/10.1093/aob/mcr102

Liu, K., Sollenberger, L. E., Silveira, M. L., Newman, Y. C., & Vendramini, J. M. (2011). Grazing intensity and nitrogen fertilization affect litter responses in 'Tifton 85'bermudagrass pastures: I. Mass, deposition rate, and chemical composition. *Agronomy Journal*, 103(1): 156-162. https://doi.org/10.2134/agronj2010.0319

Longhini, V.Z., Cardoso, A.S., Berça, A.S., Carvalho, I.N.O., Boddey, R.M., Reis, R.A., Dubeux Jr., J.C., Ruggieri, A.C. Nitrogen fertilizer increased litter deposition and litter N in warm-climate grasslands. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 119: 247-258. https://doi.org/10.1007/s10705-021-10119-8

Marcondelli, A. C. B. *Comparação de ciclagem de nutrientes em pastagens convencionais, sistemas silvipastoris e floresta estacional semidecídua*. 2019. 94 f. Tese (Doutorado em

Ciências). Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.

Mei, L., Zhang, P., Cui, G., Yang, X., Zhang, T., Guo, J. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi promote litter decomposition and alleviate nutrient limitations of soil microbes under warming and nitrogen application. *Applied Soil Ecology*, 171: 104318. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104318

Menezes, R. C. *Intensidades de pastejo e espaçamentos de plantio de amendoim forrageiro em consórcio com capim-braquiária*. 2017. 119 f. Tese (Doutorado) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Myers, R.J.K., van Noordwijk M, Vityakon P (1997) *Synchrony of nutrient release and plant demand: plant litter quality, soil environment and farmer management options*. In: Cadisch G, Giller KE (eds) Driven by nature: plant litter quality and decomposition. CAB International, London, pp 215–229.

Nefzaoui, A., Louhaichl, M., & Ben Salem, H. (2014). Cactus as a tool to mitigate drought and to combat desertification. *Journal of Arid Land Studies*, 13: 121-124.

Nuñez, J., Arevalo, A., Karwat, H., Egenolf, K., Miles, J., Chirinda, N., et al. (2018). Biological nitrification inhibition activity in a soil-grown biparental population of the forage grass, Brachiaria humidicola. *Plant Soil*, 426: 401–411. https://doi.org/10.1007/s11104-018-3626-5

Pariz, C. M., Costa, C., Crusciol, C. A., Meirelles, P. R., Castilhos, A. M., Andreotti, M., Nídia R. Costa, Martello, J. M., Souza, D. M., Sarto, J. R. W., Franzluebbers, A. J. (2016). Production and soil responses to intercropping of forage grasses with corn and soybean silage. *Agronomy Journal*, 108(6): 2541-2553. https://doi.org/10.2134/agronj2016.02.0082

Pedro, C. M. *Aporte e decomposição de serapilheira em um fragmento de cerrado sensu stricto*. 2017. 40 f. Dissertação (Mestrado). Curso de Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal de Tocantins, Gurupi.

Pereira, N. S., Soares, I., & Miranda, F. R. D. (2016). Decomposition and nutrient release of leguminous green manure species in the Jaguaribe-Apodi region, Ceará, Brazil. *Ciência Rural*, 46: 970-975. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140468

Pessoa, D. V. Dinâmica da serapilheira e da matéria orgânica do solo em *Urochloa decumbens* Stapf. e *Mimosa caesalpiniifolia* Benth. sob monocultivo e sistema silvipastoril. 2022. 93 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

Prescott, C. E. (2010). Litter decomposition: what controls it and how can we alter it to sequester more carbon in forest soils? *Biogeochemistry,* 101(1-3): 133–149. https://doi.org/10.1007/s10533-010-9439-0

Pries, C. E. H., Sulman, B. N., West, C., O'neill, C., Poppleton, E., Porras, R. C., Castanha, C., Zhu, B., Widemeier, D. B., Torn, M. S. (2018). Root litter decomposition slows with soil depth. *Soil Biology and Biochemistry*, *125*: 103-114. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.07.002

Ramalho, I. O., Rezende, C. D. P., Pereira, J. M., Macedo, R. D. O., Santos, C. A. D., Monteiro, R. C., Alves, B. J. R., Carvalho, I. N. O., Urquiaga, S., Boddey, R. M. (2019). Deposition and decomposition of litter in periods of grazing and rest of a tropical pasture under rotational grazing. *Ciência Rural*, 49. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190266

Ratke, R. F., dos Santos, J. D. D. G., Souza, J. G. P. Métodos para estudo da dinâmica de raízes. In: Zuffo, A. M.; Aguilera, J. G.; Oliveira, B. R. *Ciência em Foco*, Nova Xavantina, MT: Pantanal Editora, 2019. p. 120.

Santos, E. R., Dubeux Jr, J. C. B., Mackowiak, C., Blount, A., Sollenberger, L. E., DiLorenzo, N., Jaramillo, D., Garcia, L., Pereira-Neto, J. D. (2018). Root-rhizome mass and chemical composition of bahiagrass and rhizoma peanut monocultures compared with their binary mixtures. *Crop Science*, *58*(2): 955-963. https://doi.org/10.2135/cropsci2017.09.0522

Santos, E. R. S., Dubeux, J. C. B., Jr., Mackowiak, C., Sollenberger, L. E., Jaramillo, D. M., van Cleef, F.; Siqueira, M. and Ruiz-Moreno, M. 2019. Root-rhizome mass, growth, and decomposition of rhizoma peanut (*Arachis glabrata* Benth.). ASA/CSSA/SSSA International Annual Meeting, San Antonio, TX.

Santos, E.R.S., Dubeux Jr., J.C.B., Sollenberger, L.E, Siqueira, M.C.B., Van Cleef, F.O.S., Jaramillo, D.M., Zagato, L.Q.S.D., Queiroz, L.M.D., Garcia, L., Garcia, C.C.V., Ruiz-Moreno, M. (2022). Composition and decomposition of rhizoma peanut (*Arachis glabrata* Benth.) belowground biomass. *Scientific Reports*, 12: 9967. https://doi.org/10.1038/s41598-022-14001-7

Schroeter, S.A., Eveillard, D., Chaffron, S., Zoppi, J., Kampe, B., Lohmann, P., Jehmlich, N., Von Bergen, M., Sanchez-Arcos, C., Pohnert, G., Taubert, M., Küsel, K., Gleixner, G. (2022). Microbial community functioning during plant litter decomposition. *Scientific Reports*, 12: 7451. https://doi.org/10.1038/s41598-022-11485-1

Segnini, A., Xavier, A.A.P., Otaviani-Junior, P.L., Oliveira, P.P.A., Pedroso, A.F., Praes, M.F.F.M., Rodrigues, P.J.M., Milori, D.M.B.P. (2019). Soil carbon stock and humification in pastures under different levels of intensification in Brazil. *Animal Science and Pastures*. 76(1): 33-40. http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2017-0131

Scoriza, R. N. Pereira, M. G., Pereira, G. H. A., Machado, D. L., & Silva, E. M. R (2012). Métodos para coleta e análise de serapilheira aplicados à ciclagem de nutrientes. *Floresta e Ambiente*, 2(2): 1-18.

Setala, H., Marshall, V. G., & Trofymow, J. A. (1996). Influence of body size of soil fauna on litter decomposition and ^{15}N uptake by poplar in a pot trial. *Soil Biology and Biochemistry*, 28(12): 1661-1675. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(96)00252-0

Silva, C. J. D., Sanches, L., Bleich, M. E., Lobo, F. D. A., & Nogueira, J. D. S. (2007). Produção de serrapilheira no Cerrado e Floresta de transição Amazônia-Cerrado do centro-oeste brasileiro. *Acta amazônica,* 37: 543-548. https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000400009

Silva, H. M. S., Dubeux Jr, J. C.B., Silveira, M. L., Freitas, E.V., Santos, M. V.F., & de Andrade Lira, M. (2015). Stocking rate and nitrogen fertilization affect root decomposition of elephantgrass. *Agronomy Journal*, *107*(4): 1331-1338. https://doi.org/10.2134/agronj14.0618

Silva, H. M. S., Dubeux Jr, J. C. B., Santos, M. V. F., Lira, M. A., Lira Jr., M. A. & Muir, J. P. (2012). Signal grass litter decomposition rate increases with inclusion of calopo. *Crop Science*, 52: 1416–1423. https://doi.org/10.2135/cropsci2011.09.0482

Silva, H. M. S., Dubeux Jr, J. C. B., Silveira, M. L., Santos, M. V.F., Freitas, E.V., & Lira, M.A. (2019). Root decomposition of grazed signalgrass in response to stocking and nitrogen fertilization rates. *Crop Science, 59*(2): 811-818. https://doi.org/10.2135/cropsci2018.08.0523

Silva, J. P. *Estoque de carbono e nutrientes no solo e na serapilheira sob remanescentes de vegetação nativa*. 2018. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência Florestal, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

Snyman, H.A. 2006a. Root distribution with changes in distance and depth of two-year- old cactus pears *Opuntia fícus-indica* and *Opuntia robusta* plants. *South African Journal of Botany, 72*: 434441. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2005.12.008

Sokol, N. W., Kuebbing, S. E., Karlsen- Ayala, E., & Bradford, M. A. (2018). Evidence for the primacy of living root inputs, not root or shoot litter, in forming soil organic carbon. *New Phytologist,* 221(1): 233– 246. https://doi.org/10.1111/nph.15361

Sollenberger, L. E., Kohmann, M. M., Dubeux Jr, J. C., & Silveira, M. L. (2019). Grassland management affects delivery of regulating and supporting ecosystem services. *Crop Science*, 59(2): 441-459. https://doi.org/10.2135/cropsci2018.09.0594

Sollenberger, L.E., Dubeux Jr., J.C.B. (2022). Warm-climate, legume-grass forage mixtures versus grass-only swards: An ecosystem services comparison. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 51: e20210198. https://doi.org/10.37496/rbz5120210198

Soussana, J. F., & Lemaire, G. (2014). Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190: 9-17. https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.012

Thomas, R. J. (1992). The role of the legume in the nitrogen cycle of productive and sustainable pastures. *Grass and forage science*, *47*(2): 133-142. https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1992.tb02256.x

Tresch, S., Frey, D., Le Bayon, R. C., Zanetta, A., Rasche, F., Fliessbach, A., & Moretti, M. (2019). Litter decomposition driven by soil fauna, plant diversity and soil management in urban gardens. *Science of the Total Environment*, *658*: 1614-1629. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.235

Van Groenigen, J. W., Van Kessel, C., Hungate, B. A., Oenema, O., Powlson, D. S., & Van Groenigen, K. J. (2017). Response to the letter to the editor regarding our viewpoint "sequestering soil organic carbon: A nitrogen dilemma". *Environmental Science & Technology*, *51*(20): 11503-11504. https://doi.org/10.1021/acs.est.7b04554

Vasconcelos, A. C. M., Casagrande, A. A., Perecin, D., Jorge, L. A. C., & Landell, M. G. A. (2003). Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, *27*: 849-858. https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000500009

Volaire, F., Barkaoui, K., & Norton, M. (2014). Designing resilient and sustainable grasslands for a drier future: adaptive strategies, functional traits and biotic interactions. *European Journal of Agronomy*, *52*: 81-89. https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.10.002

Waksman S. *Principles of Soil Microbiology*. 2nd ed. Baltimore: Wilians & Wilkings Company; 1952. 894 p.

Wieder, R. K., Lang, G. E. (1982) A critique of the analytical methods used examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology*, 63: 1636-1642. https://doi.org/10.2307/1940104

Witzgall, K., Vidal, A., Schubert, D. I., Höschen, C., Schweizer, S. A., Buegger, F., Pouteau, V., Chenu, C., Mueller, C. W. (2021). Particulate organic matter as a functional soil component for persistent soil organic carbon. *Nature Communications, 12*(1): 4115. https://doi.org/10.1038/s41467-021-24192-8

Xavier, D. F., Silva Lédo, F. J., Paciullo, D. S., Urquiaga, S., Alves, B. J., & Boddey, R. M. (2014). Nitrogen cycling in a Brachiaria-based silvopastoral system in the Atlantic forest region of Minas Gerais, Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 99(1): 45-62. https://doi.org/10.1007/s10705-014-9617-x

Xavier, D. F., Lédo, F. D. S., Paciullo, D. D. C., Pires, M., & Boddey, R. M. (2011). Litter dynamics in signal grass pastures in a silvipasture system and in monoculture. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(10): 1214-1219. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000014

13

Fogo como ferramenta de manejo em pastagens nativas

Sandra Aparecida Santos[1]
Arnildo Pott[2]
Letícia Couto Garcia[3]
Alexandre de Matos Martins Pereira[4]
Fátima Ele El Seher[5]
Geraldo Alves Damasceno Junior[6]

Introdução

A criação de bovinos a pasto consiste num dos tipos de sistemas de produção mais econômicos do Brasil, cuja atividade é desenvolvida em quase todas as regiões, em cerca de 155 milhões de hectares de pastagens (MapBiomas, 2021). Sobretudo, o gado criado no pasto produz carne e leite de melhor qualidade do que o estabulado (Delgado-Pertíñez e Horcada, 2021). O Brasil possui uma diversidade de ecossistemas e biomas com suas especificidades, com diferentes tipos de sistemas de produção: extensivo, semi-intensivo, intensivo e integrado. Há 120 milhões de hectares de remanescentes de ecossistemas não florestais (campestres e savânicos), onde a

[1] Pesquisadora da Embrapa. E-mail:sandra.santos@embrapa.br.
[2] Pesquisador visitante, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul.
[3] Professora, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul.
[4] Aluno de Pós-graduação, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. IBAMA.
[5] Aluna de Pós-graduação, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul.
[6] Professor, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul.

conservação de biodiversidade depende de fogo e pastejo (Overbeck et al., 2015). Dentre as práticas de manejo de sistemas extensivos como as pastagens naturais, o uso do fogo ainda vem sendo usado para diversos fins, entre os quais o controle de espécies invasoras, renovação de áreas de "macegas" (capins não consumidos em que a queima promove a rebrota e a adição de nutrientes no solo) e controle de plantas indesejáveis. Este capítulo pretende abordar aspectos relacionados ao uso do fogo em áreas com pastagens nativas, ou seja, em ambientes onde a vegetação nativa é naturalmente aberta, com predominância de gramíneas e onde o fogo já é um elemento da paisagem.

Na maioria dos casos, o fogo não é indicado para pastagens cultivadas, pois, quando bem manejadas, apresentam bom desempenho produtivo sem necessidade de queima (Zanini e Sbrissia, 2013). Tendo o conhecimento de que o fogo causa diversas externalidades negativas, como emissões de gases de efeito estufa e uma série de alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, que é a base da sustentabilidade dos agroecossistemas, o uso do fogo no manejo das pastagens e limpeza deve ser recomendado somente quando outra prática de manejo não seja sustentável ou viável (Santos et al., 2020). Contudo, vale salientar que o manejo integrado do fogo (MIF) tem sido usado como uma estratégia de manejo ambiental adaptada para cada região, que consiste num modelo de planejamento e gestão que associa aspectos ecológicos, técnicos, culturais e socioeconômicos e suas interações na utilização do fogo, principalmente para evitar acúmulo de palha e consequentes incêndios.

O uso da queima prescrita (uso planejado, monitorado e controlado do fogo, realizado para fins de manejo) pode proporcionar vários serviços ecossistêmicos e as estratégias de manejo devem moldar o regime do fogo, de modo que haja um equilíbrio entre o fornecimento dos serviços ecossistêmicos e a proteção dos recursos naturais (Pausas e Keeley, 2019). Vale lembrar aqui que o uso do manejo integrado do fogo é recomendado em Biomas que já possuem o fogo como importante filtro ecológico como o Cerrado, o Pantanal e o Pampa (Pivello et al., 2021).

Apesar do fogo também ser usado em limpeza de área (expansão da fronteira agrícola) para a formação de pastagens e lavouras, este capítulo será focado apenas no uso da queima prescrita como ferramenta de manejo para os ecossistemas de pastagens nativas que evoluíram com o fogo, buscando critérios do uso inteligente do mesmo.

Comportamento do fogo

Para melhor definir estratégias de manejo de pastagens nativas com o uso do fogo, assim como as formas de prevenção de incêndios, há a necessidade do conhecimento sobre o comportamento do fogo nos diferentes ecossistemas. As variáveis que comandam o comportamento do fogo são a velocidade de propagação, intensidade, altura das chamas, tempo de residência e energia liberada, condicionados pelas interações entre o combustível, a topografia e as variáveis meteorológicas (Batista, 1990). A intensidade é a variável mais importante do comportamento do fogo e é usada para avaliar o seu impacto (Batista, 2013). O comportamento do fogo pode ser caracterizado pela altura da chama (Ratcliff et al., 2022), que é um indicador da intensidade do fogo, cuja relação varia conforme o tipo de incêndio (Andrews, 2011). O material combustível é um dos fatores de grande influência sobre o comportamento do fogo.

A altura do fogo determina as principais características do incêndio, ou seja, como o combustível entra em combustão, o desenvolvimento das chamas e a propagação do fogo (Batista, 1990). Modelagens sobre o comportamento do fogo auxiliam as tomadas de decisão (Cardil et al., 2021), pois a propagação do fogo e a área queimada podem ser acompanhadas e modeladas por imagens satelitárias.

O início e a propagação do fogo dependem do tipo de combustível disponível, associado com outros elementos envolvidos na combustão, que são oxigênio e calor (agente de ignição), representados pelo “triângulo do fogo” (Soares, 1985) ou o “quadrado do fogo”, onde o elemento reação em cadeia é o processo de sustentabilidade da combustão (Viegas, 2006). O incêndio vai secando a vegetação verde já metros à frente e logo incandesce. O fogo pulou o rio Paraguai no último ciclo seco, o que dá uma noção do avanço de um incêndio de grandes proporções. Desses elementos, os combustíveis são passíveis de controle e planejamento pelo homem sendo de grande influência no comportamento do fogo (Beutling, 2009).

A pastagem constituída de gramíneas e outras ervas consistem no principal combustível por ser fino, com uma alta relação superfície:volume favorecendo a rápida queima (Ratcliff et al., 2022). Durante o período de seca esse material fino e seco torna-se altamente inflamável. Esse tipo de queima superficial é rápida e geralmente caracterizado como fogo de baixa intensidade, causando baixo impacto.

Estratégias do uso do fogo para manejo de pastagens naturais

O uso do fogo para manejo de pastagens tem sido descrito por vários autores (*e.g.,* Zanini e Sbrissia, 2013), com a apresentação de aspectos positivos e negativos. Abaixo são descritos os principais objetivos do uso do fogo, levando em consideração os aspectos positivos e negativos:

Incremento da produtividade e qualidade da pastagem

A ação do fogo sobre a pastagem proporciona um aumento rápido na mineralização da vegetação na superfície do solo, enriquecendo o solo com a deposição de macronutrientes que não são tão volatizados como Ca, Mg, Na e K, e o acúmulo de cinzas por sua vez disponibiliza o P, porém, há uma perda de N (Costa et al., 2011; Salomão e Hirle, 2019). Estudos feitos no Cerrado, mostraram que nutrientes como P, K, Ca, Mg e S que são perdidos após a combustão, podem voltar aos níveis pré-fogo com três anos após o evento (Pivello e Coutinho, 1982). Neste sentido, vale ressaltar a importância também de ser avaliada a frequência do uso do fogo, uma vez que, se for anual, este exemplo do ciclo de retorno dos nutrientes pode ser prejudicado. Estudos sobre o efeito do fogo sobre a mineralização do N têm resultados conflitantes que variam em função dos ecossistemas e do comportamento do fogo. O ciclo do N é modificado com o fogo havendo perdas por lixiviação e volatilização. Estes nutrientes proporcionam melhor rebrota da vegetação, provocando a indução do perfilhamento e melhoria do valor nutritivo (Primavesi, 2006). Porém, Cardoso et al. (2003), avaliando o efeito da queima de campo nativo sazonal com dominância de *Andropogon hypogynus* Hack. no Pantanal, verificaram um leve aumento no valor nutritivo da matéria seca somente nos primeiros meses. Resultados similares foram observados por Santos (2001) que avaliou o uso da queima em áreas de 'caronal', campo limpo com predominância de *Elyonurus muticus* (Spreng.) Kuntze, com o objetivo de estimular a rebrota e valor nutritivo (Figura 1). A autora observou que o gado consome o capim 'carona' apenas 15 dias após a queima. No entanto, mais estudos são necessários, pois a utilização das áreas de caronal por bovinos depende da proporção de espécies forrageiras preferidas pelo gado associadas, tais como a grama-do-cerrado (*Mesosetum chaseae* Luces). Nesses casos, a queima prescrita escalonada no espaço e no tempo deve ser planejada na propriedade conforme os tipos de pastagens existentes (Santos et al., 2020).

Figura 1. Queima prescrita de campos nativos com dominância de *Andropogon hypogynus* (a) e *Elionurus muticus* (b) no Pantanal.

Controle de plantas indesejáveis

Áreas de campo com dominância de gramíneas e outras ervas de alto valor forrageiro podem ter colonização por algumas espécies nativas arbustivas e/ou herbáceas, consideradas espécies oportunistas, indesejáveis aos que almejam a maior disponibilidade de espécies forrageiras no pasto (Santos e Comastri Filho, 2012), causando redução da capacidade de suporte das pastagens, com consequente perda de sustentabilidade econômica da pecuária. Esse cenário é decorrente de diversos fatores, entre os quais a supressão de fogo e de pastejo associada às condições climáticas (anos plurianuais mais secos ou mais chuvosos) e suas interações ou também, devido ao sobrepastejo. Estratégias de controle para evitar a invasão de áreas de campos devem ser realizadas. A interação do uso do fogo com o pastejo controlou de forma mais efetiva as plantas arbustivas consideradas indesejáveis aos que almejam a formação do pasto do que o uso exclusivo do fogo prescrito ou do uso exclusivo do pastejo (Capozzelli et al., 2020). Esta redução das espécies arbustivas pode ser devido ao consumo das espécies arbustivas pelo gado logo após a queima. Em áreas inundáveis, o fogo associado a inundação pode promover a savanização da vegetação, com forte eliminação das espécies arbóreo-arbustivas pela ação do fogo e subsequentemente pela inundação (Manrique-Pineda et al., 2021).

A decisão da estratégia do uso do fogo para o controle de espécies oportunistas deve ser definida em função de diversos fatores, entre os quais, a espécie arbustiva/arbórea, o nível de invasão e o ecossistema (Santos et al., 2021). Vários arbustos e subarbustos de pouco interesse forrageiro têm rebrota pós-fogo a partir

de gemas basais e subterrâneas. Algumas espécies de leguminosas nativas como a aromita (*Vachellia farnesiana* (L.) Wight & Arn.) que apresentam sementes com tegumento rígido têm aumento da germinação após o fogo ou a passagem pelo trato digestivo dos bovinos (Santos et al., 2014). Por outro lado, diminuiu a germinação de outra leguminosa (C*alliandra parviflora* Benth), porém, não prejudicou a propagação da espécie devido à rebrota (Ferreira et al., 2021). O uso do fogo para controle de espécies daninhas em pastagens cultivadas não tem sido recomendado (Souza Filho et al., 2006). Estudos preliminares com uso da técnica do flamejamento no controle de plantas daninhas em pastagens como uma prática alternativa ao uso de herbicidas têm mostrado resultados satisfatórios, porém, sua eficácia e impacto dependem da intensidade e período de exposição (Burin e Fuentes, 2015).

Com relação às geadas, apesar da baixa frequência no Pantanal, essas aumentam a incidência de incêndio não programado. Nestes casos e nas regiões onde ocorrem geadas, para prevenção disso, a queima também tem sido usada para a eliminação de pasto queimado no final do inverno e no controle de parasitas e doenças endêmicas de animais (Zanini e Sbrissia, 2013).

Proteção da biodiversidade e incremento da heterogeneidade ambiental e serviços ecossistêmicos.

A queima de manchas de tipos de pastagens associada com o pastejo reduz a probabilidade de risco de incêndio e aumenta a heterogeneidade ambiental para a biodiversidade (Fuhlendorf et al., 2008 e 2009), importante para a fauna da região. Tem sido observado que o fogo periódico é necessário para conservar a biodiversidade do Cerrado (Durigan e Ratter, 2016) e dos campos. O fogo uniformiza a pastagem e diminui a ação seletiva do pastejo por um determinado período, até que as gramíneas cespitosas retomem sua altura (Santos et al., 2020), mas, a queima em mosaico reduz a propagação das chamas e ocasiona a pirodiversidade da vegetação (Figura 2) e, consequentemente, até da fauna. Isso se dá devido à disponibilidade de recursos (flores, frutos, sementes) complementares de espécies arbóreas e não-arbóreas quando estão em um sistema de manejo integrado do fogo que promove a pirodiversidade, desse modo, a homogeneização dos regimes de queima é prejudicial à flora e fauna nativos dos ambientes adaptados ao fogo (Ferreira et al., 2023). Para isso ocorrer no ecótono do Cerrado-Pantanal, a melhor época de condução deste manejo é entre o fim da estação chuvosa e começo da estação seca (Ferreira et al., 2023).

Figura 2. Manejo de queima prescrita no Pantanal promove a pirodiversidade da vegetação.

Vale ressaltar que o uso adequado do fogo no manejo depende do conhecimento sobre os regimes de fogos históricos (Block et al., 2016). Por exemplo, aliar o conhecimento indígena, ao conhecimento científico e ao de gestores do fogo tem resultados promissores para o ecótono do Cerrado-Pantanal (Oliveira et al., 2022), biomas adaptados ao fogo (Pivello et al., 2021). Brigadistas Kadiwéu atuando conjuntamente com o PrevFogo/IBAMA reduziram a frequência de incêndios florestais em 80% nas áreas com alta frequência de fogo e diminuíram em 53% o tamanho da área anual queimada e, a partir da atuação das brigadas indígenas, mesmo sob condições climáticas muito desfavoráveis e secas, a frequência dos incêndios diminuiu (Oliveira et al., 2022).

A partir do conhecimento sobre os efeitos benéficos do fogo, este pode ser utilizado no controle de pragas e na otimização de alguns processos ecológicos como ciclagem de nutrientes e fluxo de energia, sucessão, diversidade, estabilidade, entre outros (Alexander e Thomas, 2006). Porém, a sua utilização depende de critérios técnicos adequados que proporcionem apenas os efeitos benéficos.

O fogo superficial de baixa severidade, ou “fogo frio”, tem baixo impacto sobre o carbono orgânico que tem maior quantidade no subsolo. Porém, a severidade da queima depende das condições ambientais e da estrutura da vegetação (Neary e Leonard, 2020). Um estudo de Teixeira et al. (2022) em pastagens de cerrado mostrou

que a exclusão do fogo influenciou na perda da diversidade funcional e carbono, pois, com a queima, o carbono emitido é rapidamente recuperado com a rebrota das plantas. A perda da diversidade funcional, por sua vez, diminui a resiliência das pastagens aos distúrbios e mudanças ambientais.

O uso do fogo está associado à conservação da vegetação nativa por parte do produtor, causando menor impacto a não substituição da vegetação nativa por outra espécie (Damasceno-Junior et al., 2021). Ou seja, a prática do uso do manejo integrado do fogo no Pantanal e no Cerrado, é uma alternativa de intervenção que favorece a biodiversidade (Oliveira et al., 2022; Ferreira et al., 2023).

Uso integrado do fogo x pastejo (herbivoria pírica)

Os ungulados exercem grande influência sobre a dinâmica espacial e temporal do fogo, pois eles modificam o tipo e a quantidade de combustível disponível para a queima. A interação espacial e temporal de fogo e pastejo é conhecida como herbivoria pírica, ou seja, pastejo modulado pela queima (Fuhlendorf et al., 2009). Esta prática tem sido proposta por Múgica et al. (2022) para recuperar a biodiversidade de pastagens abandonadas, gerando paisagens resilientes.

O pastejo pode reduzir o fogo de várias maneiras: o principal efeito do pastejo é a redução dos combustíveis finos, que por sua vez reduz a propagação do fogo e a chama. O pastejo também pode causar mudanças na composição e estrutura da vegetação, como, por exemplo, em espécies arbustivas invasoras (oportunistas exóticas ou nativas) consideradas indesejáveis aos que almejam a formação do pasto. Pastagens com domínio de invasoras arbustivas aumentam o risco e intensidade de incêndio. Os animais são seletivos e geralmente não consomem as forrageiras de maneira uniforme, formando manchas não pastadas (Ratcliff et al., 2022).

O uso integrado da queima prescrita e pastejo prescrito tem sido utilizado para redução de combustível em pastagens nativas (Figura 3). Para o manejo adequado é necessário conhecimento sobre o potencial ecológico dos recursos vegetais (características dos combustíveis) e os princípios de pastejo (Taylor, 2006; Santos et al., 2021).

Figura 3. Campos nativos em área de Cerrado manejados com o uso de fogo e pastejo (a) Chapada dos Veadeiros e (b) Comunidade dos Kalungas, onde observa-se uma rica biodiversidade.

Para estabelecer o pastejo prescrito, há necessidade de conhecer as características da biomassa e necromassa combustível e o hábito de forrageamento das espécies animais presentes (Taylor, 2006). No Pantanal, os grandes herbívoros nativos convivem com o gado e pastam basicamente as mesmas espécies (Santos et al. 2019), com algumas particularidades entre as espécies (Desbiez et al., 2011).

A integração pastejo x fogo, depende da taxa de lotação dos herbívoros, que é considerada por Skata et al. (2016), como a principal tomada de decisão no sucesso desta interação. Os mesmos autores consideram esta integração como "engenheiro do ecossistema", pois modula as características estruturais da diversidade das pastagens. Hernández et al. (2021) verificaram que o uso da queima e pastejo proporcionaram a recuperação das pastagens nativas em solo de serpentina. Alcañiz et al. (2020) avaliaram o efeito de queima e pastejo a longo prazo (após 13 anos) em um ecossistema abandonado na região do mediterrâneo com a utilização de menos de uma cabra por hectare após a primeira queima prescrita de média severidade e verificaram que esta prática combinada não influenciou as propriedades químicas do solo.

O fogo na região do Pantanal é mal compreendido, por isto, muito criticado. Confundem-se planalto e planície, e queimada intencional com incêndio acidental ou natural (por raio). Mas muitas plantas sobrevivem por rebrota e por semente, pois convivem com o fogo desde que o Pantanal existe. Mediante a estratigrafia de carvão, pólen e diatomáceas em sedimentos lacustres do Pantanal foram detectados períodos secos com grandes incêndios, alternados com fases úmidas, desde há 12 mil anos (Power et al., 2016). No entanto, os primeiros sinais de presença humana

na região são de oito mil anos (Peixoto e Arruda, 2015). Atualmente são as áreas mais inundáveis e sem gado que acumulam mais material orgânico, inclusive "fogo de chão" do histossolo, onde ocorrem os maiores incêndios, denominadas de "corredor de fogo e inundação" (Damasceno et al., 2021). Outras savanas tropicais inundáveis também têm incêndios (Damasceno et al., 2021), como o pantanal do Araguaia, onde também há fogo e pastejo (Marimon et al., 2008). O fogo não atinge o pantanal do Amapá porque há duas cheias por dia, ocasionadas pelas marés no baixo Rio Amazonas.

As áreas bem pastejadas podem funcionar como um bloqueio natural para o avanço das queimadas (Hobbs, 1996), como acontece nas áreas úmidas intensamente pastejadas no Pantanal (Figura 4). Na região do Pantanal, áreas de baixadas (vazantes, borda de baias, baias temporárias, beira de rios, brejos) não deveriam ser queimadas porque a maioria das gramíneas aí existentes, além de serem naturalmente macias, geralmente têm gemas (brotos) acima do solo e, por isto, podem morrer com o fogo, abrindo espaço para espinheiros (cujas sementes acordam com o fogo). Além do mais, essas regiões são consideradas Áreas de Preservação Permanente (APP). Também não tem sentido queimar capões e cerrados, onde não vai haver rebrota de capim, pois nem a intenção de matar cobras será atingida, pois elas se refugiam em buracos (Pott, 1997). A depender da situação, se a área baixa estiver sendo ocupada por espécies arbustivas, o fogo utilizado antes da inundação pode ser um instrumento importante de limpeza, pois o fogo elimina um conjunto de espécies lenhosas e a inundação outro conjunto, promovendo a savanização mais efetiva do ambiente (Damasceno-Junior et al., 2021).

Figura 4. Pastagens nativas intensamente pastejadas funcionando como um bloqueio para o avanço das queimadas/incêndios.

Muitas áreas de capim-carona, fura-bucho (*Paspalum carinatum* Humb. & Bonpl. ex Feiige, *Paspalum lineare* Trinius) e outras gramíneas de baixo valor vem sendo substituídas por braquiária-humidícola (*Urochloa humidicola* (Rendle.) Schweickerdt.) no Pantanal, que também controla a propagação de incêndios, se for mantida bem pastada. Porém, esta substituição sem critérios é preocupante para a conservação das espécies nativas devido ao potencial invasor de algumas gramíneas africanas sobre áreas protegidas podendo resultar na homogeneização e perda de biodiversidade (Santos et al., 2021). Ademais, a substituição de vegetação arbórea por pastagem exótica com pastoreio extensivo no Pantanal levou à diminuição de matéria orgânica do solo, perda contínua de estoques de carbono do solo afetando a ciclagem de nutrientes e disponibilização dos mesmos (Cardoso et al., 2011).

Sistema de decisão e plano de manejo

Após descrever as características da vegetação (combustíveis), avalia-se a necessidade do uso de queima na propriedade. O plano de manejo deve ser feito de maneira individualizada para cada unidade de manejo e propriedade (Santos et al., 2020) e deve seguir a legislação vigente e as condições climáticas.

Principais impactos negativos da queima sem critérios técnicos

A prática do uso do fogo realizada de maneira inadequada pode causar alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, reduzindo a fertilidade (Zanini e Sbrissia, 2013), assim como acarretar aumento dos gases de efeito estufa (Laris et al., 2021). Em princípio, a queima é um desperdício de energia, de recurso natural. Pode causar destruição de equipamentos importantes para a propriedade como tratores, pontes, casas etc. Além disso, a queima repetida com curtos intervalos de tempo pode abrir espaço para espécies indesejáveis que estão no banco de sementes.

Quando o fogo escapa de áreas campestres e torna-se um incêndio atingindo áreas florestais associadas a cursos d'água, ambientes que comumente abrigam espécies sensíveis ao fogo, a depender da frequência e severidade do fogo, as mesmas podem ter danos às suas populações, o que gera necessidade de definição de áreas a serem restauradas devido à danos por fogo, com o uso de plantios ou semeadura de enriquecimento dessas espécies nativas (Martins et al., 2022). Ademais, os incêndios em grandes proporções, considerado como mega-incêndios, atingem áreas que não sofrem do efeito do fogo há décadas e pode prejudicar a fauna que fica sem sítios de refúgios quando grandes extensões de áreas são afetadas (Libonati et al., 2020; Garcia et al., 2021).

Práticas alternativas ao uso do fogo

Práticas de manejo sustentáveis que sejam ambientalmente corretas e que atendam obrigatoriamente a Legislação vigente devem ser buscadas para reduzir o uso do fogo na atividade pecuária (Freeman, 2010), como por exemplo, práticas que seguem a abordagem da Economia Circular. Estudos e projetos devem ser incentivados nesta linha. Uma alternativa para a diminuição do uso do fogo que vem sendo estudada e divulgada pela Embrapa e outras Instituições é a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), cuja adoção deve ser planejada para cada propriedade agrícola (Amare e Darr, 2020) e com incentivos para o uso de espécies nativas (Nicodemo et al., 2009; Batista et al., 2021) que otimizem os serviços ecossistêmicos.

No caso das pastagens, para o manejo sustentável é importante estabelecer o método de pastejo (lotação contínua ou rotacionada) adequado em função das especificidades da propriedade (gestão integrada da paisagem), capacidade de suporte e condições climáticas. O manejo adequado das pastagens proporciona a conservação, com melhor distribuição de pastejo e eficiência na produção animal,

otimizando o sequestro de carbono e reduzindo a emissão de gases de efeito estufa (Santos et al., 2021).

No caso de sistemas extensivos onde há predominância de capins maduros, estes muitas vezes são decorrentes do manejo inadequado que proporciona distribuição irregular do pastejo pelo gado. Para o melhor aproveitamento desses capins maduros (aumentados pela seca e também por subpastejo), a suplementação proteica/nitrogenada melhora o consumo animal, digestibilidade da fibra e taxa de passagem pelo sistema digestório. A formação de banco de proteínas para suplementar a alimentação dos animais também é uma alternativa para períodos de restrição alimentar, entre outras que devem ser buscadas regionalmente. Enfim, para definir o melhor planejamento da atividade pecuária, é de grande importância o diagnóstico da propriedade rural (Santos et al., 2021), de modo que as práticas de manejo sejam específicas e integradas, garantindo a sustentabilidade.

Legislação sobre o uso da queima prescrita no Brasil

O governo brasileiro declarou o uso do fogo ilegal em 1998 e essa política de fogo zero geralmente é uma medida para melhorar os esforços de conservação e está relacionada à longa história colonial que criminaliza os sistemas tradicionais de manejo do fogo, causando perda de conhecimento ecológico local (Alvarado et al., 2018; Schmidt et al., 2018; Moura et al., 2019; Garcia et al., 2021). Porém, essa ação também se mostrou ineficaz no Pantanal (Garcia et al., 2021; Oliveira et al., 2022) e em outras vegetações dependentes do fogo pois podem aumentar a carga de combustível e podem levar a conflitos, sendo, portanto, preferíveis a implementação e a expansão do MIF (Schmidt et al., 2018; Schmidt et al., 2020; Garcia et al.,2021).

A legislação ambiental brasileira vigente, através do Código Florestal brasileiro - Lei 12.651 (BRASIL, 2012), traz um capítulo específico sobre fogo, o Capítulo IX. Apesar de ser intitulado “DA PROIBIÇÃO DO USO DE FOGO E DO CONTROLE DOS INCÊNDIOS”, o inciso I, do artigo 38, traz exceções, dessa forma permitindo o uso do fogo para diversas finalidades em áreas agrossilvopastoris. O uso do fogo fica condicionado a atos autorizativos expedidos pelos Órgãos Estaduais de Meio Ambiente (OEMAs), que são responsáveis em criar regras que atendam as especificidades ambientais, sociais e econômicas de cada estado. Para auxiliar no controle de incêndios em Unidades de Conservação já está sendo adotado o uso de queima preventiva, como no Parque Nacional das Emas.

De forma geral, todos os estados da Federação possuem regras específicas para emissão de autorizações de uso da prática de queima controlada. As atividades que permitem o emprego do fogo vão desde a prática de queima da palhada proveniente da atividade de colheita da cana-de-açúcar e de sementes, restos de exploração florestal, controle de pragas e plantas invasoras, até o uso do fogo em áreas de pastagens plantadas e nativas (IBAMA, 2016).

A queima controlada é uma das técnicas de uso do fogo mais difundidas no Brasil, mas, necessita de autorização expedida por uma OEMA, objetivos bem definidos para a aplicação do fogo e obrigatoriedade da construção de aceiros para o controle efetivo do fogo, fazendo com que fique restrito ao interior do polígono pré-estabelecido (Torres et al., 2020).

O manejo integrado do fogo (MIF) promove mosaicos na vegetação campestre que reduzem incêndios. Nesse sentido, a Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei 12.652/2012), que substitui o Código Florestal, em seu artigo 40, obriga o Governo Federal a criar uma Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo (PNMIF). Em 2018 foi criado o Projeto de Lei PL 11276/2018 e atualmente o PL se encontra para aprovação no Senado Federal sob o número PL 1818/2022.

A PNMIF prevê medidas para substituir gradativamente o uso do fogo no meio rural, promover a utilização do fogo de forma controlada e aumentar a capacidade de enfrentamento aos incêndios florestais em um cenário de mudanças climáticas. O projeto também regulamenta o uso do fogo na vegetação, com manejo realizado por técnicas preventivas autorizadas pelos órgãos ambientais. A PNMIF ainda inova trazendo a possibilidade do uso do fogo através das queimas prescritas, que até então não eram abordadas em legislações estaduais e, consequentemente, não eram passíveis de autorização. A queima prescrita pode ser uma ótima ferramenta para que se atinjam os objetivos de potencializar os benefícios do uso do fogo, desde que o seu planejamento e autorização seja realizado dentro de um plano de manejo integrado do fogo.

Alguns estados da Federação têm avançado na criação de legislações que preveem o uso do fogo através das queimas prescritas. O estado de Mato Grosso do Sul publicou em 2021 o Decreto nº 15.654, de 15 de abril, e instituiu o Plano Estadual de Manejo Integrado do Fogo. Contudo, embora haja a previsão da execução das queimas prescritas e elaboração de planos de manejo integrado do fogo, ainda falta regulamentar os procedimentos de elaboração e autorização dos projetos apresentados. Infelizmente, apesar de alguns avanços, este plano estadual de MIF recentemente aprovado no MS (Decreto No 15.654 de 2021, art. 38, inciso VI) incentiva “substituição de pastagem nativa” como sendo uma “tecnologia alternativa

ao uso do fogo" ao invés de incentivar o manejo dessas pastagens nativas através do fogo (Garcia et al., 2021). O estado de Minas Gerais, também tem instrumentos semelhantes para a queima prescrita, embora ela seja voltada exclusivamente para o manejo de áreas no interior de Unidades de Conservação. Há instrumentos infralegais (Portaria IEF Nº 86, de agosto de 2020 e Resolução Conjunta SEMAD/IEF Nº 2.988, de julho de 2020) que complementam o Decreto e traçam diretrizes para elaboração dos planos de manejo integrado e como proceder para autorizar e executar as queimas. Outro exemplo é o estado do Mato Grosso, que também seguiu os ditames da PNMIF e se encontra em situação semelhante, com o Projeto de Lei Estadual nº 728/2020, que institui o Programa Estadual de Controle do Fogo, tramitando na Assembleia Legislativa do estado e aguarda apreciação e votação.

Considerações finais

O uso do fogo como ferramenta de manejo de áreas de pastagens nativas em algumas regiões do Brasil, especialmente aquelas que evoluíram com o fogo é de grande importância para a conservação da biodiversidade, produtividade de forrageiras e outros serviços ecossistêmicos. Portanto, a criminalização do uso do fogo não só falha no controle de grandes incêndios, mas também incentiva os agricultores a utilizar outras técnicas como a substituição de plantas nativas por gramíneas exóticas (Garcia et al. 2021).

A queima prescrita em pastagens nativas, quando bem planejada, é rápida e superficial, causando baixo impacto por ser um fogo de baixa severidade. Apesar de ocorrer perdas de alguns nutrientes pós-queima, esses voltam a níveis pré-fogo após três anos ou mais, ressaltando a importância da frequência do uso do fogo.

O uso adequado do fogo pode trazer diversos benefícios ambientais, proporcionando a conservação da biodiversidade, incremento dos serviços ecossistêmicos, controle de pragas e ainda resultando na melhoria da qualidade das pastagens. Para que todos esses benefícios ocorram ou até sejam potencializados, é necessário que o manejo das pastagens utilizando o fogo seja realizado de forma integrada, associando aspectos ecológicos, técnicos, culturais e socioeconômicos e suas interações.

Referências

Alcañiz, M.; Úbeda, X.; Cerdà, A. A 13-Year Approach to Understand the Effect of Prescribed Fires and Livestock Grazing on Soil Chemical Properties in Tivissa, NE Iberian Peninsula. **Forests**, v.11, 2020.

Alexander, M.E.; Tomas, D.E. Prescribed fire case studies, decision aids, and planning guides. **Fire management today**, v.66, n.1, p.5-20, 2006.

Alvarado, S.T., Freire Silva, T.S., Archibald, S. Management impacts on fire occurrence: A comparison of fire regimes of African and South American tropical savannas in different protected areas. **Journal of Environmental Management**, v.218, p.79-87, 2018.

Amare D.; Darr, D. Agroforestry adoption as a systems concept: A review. **Forest Policy and Economics**, Elsevier, vol. 120:102299, 2020.

Andrews, P.L.; Heinsch, F.A.; Schelvan, L. How to generate and interpret fire characteristics charts for surface and crown fire behavior. Gen. Tech. Rep. RMRSGTR-253. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 2011. 40 p.

Batista, A. C. **Incêndios florestais**. Recife: Imprensa Universitária da UFRPE, 1990. 115 p.

Batista, A.C.; Beutling, A.; Pereira, J.F. Estimativa do comportamento do fogo em queimas experimentais sob povoamentos de *Pinus elliottii*. Árvore, v. 37, n. 5, p. 779- 787, 2013.

Batista, A.; Calmon, M.; Lund, S.; Assad, L.; Pontes, C.; Biderman, R. Investimento em reflorestamento com espécies nativas e sistemas agroflorestais no Brasil: uma avaliação econômica. São Paulo: WRI, 2021. 90 p. Disponível em : https:// www.wribrasil.org.br/sites/default/files/wribrasil_verena_por_baixa_final.pdf.

BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. 2012. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Ano CXLIX, n. 102, 28 maio 2012. Seção 1, p.1. Disponível em <http://portal.in.gov. br/. Acesso em 12 abril de 2023.

Block, W. M.; Conner, L.M.; Brewer, P.A.; Ford, P.; Haufler, J.; Litt, A.; Masters, R.E.; Mitchell, L.R.; J.; Park, J. Effects of Prescribed Fire on Wildlife and Wildlife Habitat in Selected Ecosystems of North America. The Wildlife Society Technical Review 16-01. The Wildlife Society, Bethesda, Maryland, USA. 2016. 69 p.

Beutling, A. Modelagem do comportamento do fogo com base em experimentos laboratoriais e de campo. Curitiba, Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2009.

Burin, P.C.; Fuentes, L.F.G. Uso do fogo como alternativa no controle de plantas daninhas. **Revista Electrónica de Veterinaria**, v, 16, n.8, p.1-13, 2015.

Capozzelli, J.F.; Miller, J.R.; Debinski, D.M.; Schacht, W.H. Restoring the fire-grazing interaction promotes tree-grass coexistence by controlling woody encroachment. **Ecosphere**, v. 11, n.2, 2020.

Cardil, A.; Santiago, M.; Schag, G.; Miguel, S.; Tapia, M.; Stoof, C.R.; Silva, C.A.; Mohan, M.; Cardil, A.; Ramirez, J. Fire behavior modeling for operational decision-making. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v.23, 100291, 2021.

Cardoso, E.L.; Crispim, S.M.A.; Rodrigues, C.A.G.; Barioni Junior, W. Efeitos da queima na dinâmica da biomassa aérea de um campo nativo no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.747-752, 2003.

Cardoso, E. L.; Silva, M. L. N.; Curi, N.; Ferreira, M. M.; Freitas, D. A. F. de. Soil chemical and physical quality under natural tree vegetation and pasture in the Pantanal wetlands, Mato Grosso do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 35, p.613–622, 2011.

Costa, A.; Madeira, M.; Santos, J.L.; Oliveira, A. Change and dynamics in Mediterranean evergreen oak woodlands landscapes of Southwestern Iberian Peninsula. **Landscape and Urban Planning**, v.236, p.164-176, 2011.

Damasceno-Junior, G.A.; Pereira, A.M.M.; Oldenland, O.; Parolin, P..; Pott, A. Fire, flood and Pantanal vegetation. In: Damasceno-Junior, G.A.; Pott, A. Flora and vegetation of the Pantanal wetland. Chap. 18, pp.661-688. Switzerland, Springer, 2021.

Delgado-Pertíñez, M.; Horcada, A. Better animal feeding for improving the quality of ruminant meat and dairy. **Foods**, v.10. 1076, 2021.

Desbiez, A.L.J.; Santos, S.A.; Alvarez, J.M.; Tomas, W.M. Forage use in domestic cattle (*Bos indicus*), capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*) and pampas deer (*Ozotoceros bezoarticus*) in a seasonal Neotropical wetland. **Mammalian Biology**, v.76, p.351-357, 2011.

Durigan, G.; Ratter, J.A. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. **J. Applied Ecology**, v. 53, n. 1, p.11-15. 2016.

Ferreira, B.H.S.; Guerra, A.; Oliveira, M.R.; Reis, L.K.; Aptroot, A.; Ribeiro, D.B.; Garcia, L.C. Fire damage on seeds of *Calliandra parviflora* Benth. (Fabaceae), a facultative seeder in a Brazilian flooding savanna. **Plant Species Biology**, p.1-12, 2021.

Ferreira, B.H.; Oliveira, M.; Fernandes, R.A.; Nacagava, V.; Arguelho, B.A.; Ribeiro, D.B.; Pott, A.; Damasceno-Junior, G.A.; Garcia, L.C. Flowering and fruiting show phenological complementarity in both trees and non-trees in mosaic-burnt floodable savanna. **Journal of Environmental Management**, v.20, p. 337:117665, 2023.

Freeman, R. E. **Strategic management: a stakeholder approach**. New York: Cambridge University Press, 2010.

Fuhlendorf, S.D.; Archer, S.; Smeins, F.; Engle, D.; Taylor, C. The combined influence of grazing, fire and herbaceous productivity on tree-grass interactions. In: Western North American Juniperus communities, ed. O.V. Auken. New York: Springer. 2008.

Fuhlendorf, S.D.; Engle, D.M.; Kerby, J.A.Y.; Hamilton, R. Pyric herbivory: rewilding landscapes through the recoupling of fire and grazing herbivorı´a pı´rica: restablecimiento de paisajes silvestres mediante la combinacio´n de fuego y pastoreo. **Conserv. Biol**., v.23, p.588–598, 2009.

Garcia, L.C.; Szabo, J.K;Roque, F.O.; Pereira, A.M.M.; Cunha, C.N.; Damasceno-Júnior, G.A.; Morato, R.G.; Tomas, W.M.; Libonati, R.; Ribeiro, D.B. Record-breaking wildfires in the world's largest continuous tropical wetland: Integrative Fire Management is urgently needed for both biodiversity and humans. **Journal of Environmental Management**, v.293: 112870, 2021.

Hernández, E.; Shaw, A.; Aoyama, L.; Bramblia, A.; Niederer, C.; Weiss, S.B.; Hallett, L.M. Fire versus grazing as tools to restore serpentine grasslands under global change. **Restoration Ecology**, v. 29, n.S1, e13353, 2021.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Manual do Brigadista. Brasília, DF: IBAMA, 2016. 67p.

Laris, P.; Koné, M.; Dembélé, F.; Rodrigue, C.M.; Yang, L.; Jacobs, R.; Laris, Q. Methane gas emissions from savanna fires: what analysis of local burning regimes in a working West African landscape tell us. **Biogeosciences**, v.18, p.6229–6244, 2021.

Libonati, R.; Sander, L.A.; Peres, L.F.; DaCamara, C.C.; Garcia, L.C. Rescue Brazil's burning Pantanal wetlands. **Nature**, v. 588, p.217–220, 2020.

Lovreglio, R.; Meddour-Sahar O.; Leone, V. Goat grazing as wildfire prevention tool: a basic rewiew. **iForest**, v.7, p. 260-268, 2014.

MapBiomas. A evolução da pastagem nos últimos 36 anos. 2021. Disponível em: mapbiomas.org. Acesso em:05/04/2023.

Marimon, B.S.; Marimon Junior, B.H.; Lima, H.S.; Jancoski, H.S.; Franczak, D.D.; Mews, H.A.; Moresco, M.C. Pantanal do Araguaia, ambiente e povo, guia de ecoturismo. Cáceres, Editora Unemat. 2008.

Manrique-Pineda, D. A.; De Souza, E. B.; Paranhos Filho, A. C. Cáceres Encima, C. C. ; Damasceno-Junior, G. Fire, flood and monodominance of *Tabebuia aurea* in Pantanal. **Forest Ecologist and Management**, v. 479, p. 118599, 2021.

Martins, P.I.; Belém, L.B.C.; Szabo, J.K.; Libonati, R.; Garcia, LC. Prioritising areas for wildfire prevention and post-fire restoration in the Brazilian Pantanal. **Ecological Engineering**, v.176: 106517, 2022.

Melotto, A.; Nicodemo, M.; Bocchese, R. A,; Laura, V. A.; Gontijo Neto, M. M.; Schleder, D. D.; Pott, A.; Porfírio-da-Silva, V. Sobrevivência e crescimento inicial em campo de espécies florestais nativas do Brasil Central indicadas para sistemas silvipastoris. **Revista** Árvore, v.33, p.425-432, 2009.

Moura, L.C.; Scariot, A.O.; Schmidt, I.B.; Beatty, R.; Russell-Smith, J. 2019. The legacy of colonial fire management policies on traditional livelihoods and ecological sustainability in savannas: impacts, consequences, new directions. **Journal of Environmental Management**, v.232, p. 600–606, 2019.

Múgica L.; Canals, R. M.; San Emeterio, L.; Mosquera-Losada, M.R.; Torres F;, Plaixats J.; Castro M.; Robles, A.B.; Sáez, J.L; Aguerre, C.; Duperron, C.; Yebra, R. Sustainable management model for the preservation of valuable open mountain areas: the Open2preserve project. In: Delaby, L.; Baumont, R.; Brocard, V.; Lernauviel-Lavenant, S.; Verès, F.; Peyraud. Grassland Science in Europe, v.. 27 – Grassland at the heart of circular and sustainable food systems, p. 829-831. 2022.

Neary, D.G.; Leonard. J.M. Effects of fire on grassland soils and water: a review. Effects of fire on grassland soils and water: a review. In: Kindomihou, Valentin Missiako (Ed.), Grasses and Grassland Aspects, 2020. Disponível em: https://www.intechopen.com/chapters/70724

Nicodemo, M. L. F.; Santos, P. M.; Porfírio da Silva, V.; Freitas, A. R. de; Rassini, J. B.; Caputti, G. Sistema agrissilvipastoril com espécies florestais nativas na região sudeste. In: WORKSHOP INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA NA EMBRAPA, 2009, Brasília, DF. Resumos e palestras apresentadas. Brasília, DF: Embrapa: ILPF, 2009. 1 CD-ROM

Oliveira, M.R.; Ferreira, B.H.S.; Souza, E.B.; Lopes, A.A.; Bolzan, F.P.; Roque, F.O,; Pott, A.; Pereira, A.M.M.; Garcia, L.C. Damasceno-Junior, G.A., Costa, A.; Rocha, M.; Xavier, S.; Ferraz, R., Ribeiro D.B. Indigenous brigades in a transitional zone of savanna and wetland changes: spatial patterns of wildfires, influence of climate on fire regimes, and increased forest area. **Journal of Applied Ecology**, v. 59, p.1279-1290, 2022.

Overbeck, G.E.; Vélez-Martin, E.; Scarano, F.R.; Lewinsohn, T.M.; Fonseca, C.R.; Meyer, S.T.; Müller, S.C.; Ceotto, P.; Dadalt, L.; Durigan, G.; Ganade, G.; Gossner, M.M.; Guadagnin, D.L.;

Lorenzen, K.; Jacobi, C.H.; Weisser, W.W.; Pillar, V.D. 2015. Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems. **Divers. Distrib**., v.21, p.1455-1460, 2015

Pausas, J.G.; Keeley, J.E. Wildfires as an ecosystem service. **Front. Ecol. Environ**, v.17, p.289–295, 2019.

Peixoto, H.; Arruda, A.A. Interação regional dos grupos indígenas que ocuparam a região das Grandes Lagoas do Pantanal e da Chiquitania. In: Alconini, S.; Betancort, C.J. eds.) En el corazón de América del Sur, 3 (Arqueología de las tierras bajas de Bolivia y zonas limítrofes). pp. 41-66. Santa Cruz de la Sierra, Imprenta 2E. 2015.

Pivello, V. R.; Coutinho, L. M. Transfer of macro-nutrients to the atmosphere during experimental burnings in an open cerrado (Brazilian savanna). **Journal of Tropical Ecology**, v.8, n.4, p.487–497, 1992.

Pivello, V. R.;Vieira, I.; Christianini, A. V.; Ribeiro, D. B.; da Silva Menezes, L.; Berlinck, C. N.; Melo, F. P. L.; Marengo, J. A.,; Tornquist, C. G.; Tomas, W. M.; Overbeck, G. E. Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. **Perspectives in Ecology and Conservation,** v.19, n.3, p.233–255, 2011.

Pivello, V.R.; Vieira, I.; Christianini, A.V.; Bandini Ribeiro, D.;Menezes, L.S.;Berlinck, C.N.; Melo, F.P.L. Marengo, J.A.;Tornquisti, C.G.; Moraes, W.; Overbecke, G.E. Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v.19, n.3, p.233-255, 2021.

Power, M.J.; Whitney, B.S.; Mayle, F.E.; Neves, D.M.; de Boer, E.J.; Maclean, K.S. Fire, climate and vegetation linkages in the Bolivian Chiquitano seasonally dry tropical forest. **Hil. Trans. R. Soc. B. Biol. Sci**., v.371:20150165, 2016.

Pott, A. Pastagens nativas. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal (Corumbá, MS). Tecnologias e informações para a pecuária de corte no Pantanal. Corumbá, 1997. p.7-19

Primavesi, A. **Manejo ecológico do solo**. 18. ed. São Paulo: Nobel, 2006.

Ratcliff, F.; Rao, D.; Barry, S.; Dewees, S.; Macaulay, L.; Larsen, R.; Shapero, M.; Peterson, R.; Moritz, M.; Forero, L. Cattle grazing reduces fuel and leads to more manageable fire behavior. **California Agriculture**, v.76, n.2-3, p.60-69, 2022.

Salomão, P.E.A.; Hirle, R.E.W. Estudo da influência das queimadas nas propriedades química e banco de sementes dos solos do Vale do Mucuri. **Res., Soc. Dev**. v.8, n.12:e358121799, 2019.

Santos, S. A. *Caracterização* dos recursos forrageiros *nativos* da subregião da Nhecolândia, *Pantanal*, Mato-Grosso do Sul, Brasil. **2001**. 190 p. Tese (Doutorado em Zootecnia- UNESP, Botucatu).

Santos, S. A.; Comastri Filho, J. A. Práticas de limpeza de campo para o Pantanal. Corumbá: Embrapa Pantanal, 8p., 2012. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/80442/1/COT921.pdf

Santos, S. A.; Silva, E. R.; Oliveira, G. F.; Crispim, S. M. A.; Silva, L. C. F. Silva, G. A. Controle de aromita em pastagens exóticas em uma fazenda do Pantanal, Miranda, MS. Corumbá: Embrapa Pantanal, 3p., 2014. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1009303

Santos, S.A.; Pott, A.; Cardoso, E.L.; Salis. SM.; Valls, J.F.M.; Garcia, J.B. **Guia para identificação de pastagens nativas do Pantanal.** Corumbá, Embrapa. 2019.

Santos, S.A.; Cardoso, E.L.; Soriano, B.M.; Pott, A.; Pereira, A.M.M. Guia para uso do fogo no manejo de pastagem em nível de fazenda no Pantanal. Corumbá: Embrapa Pantanal (Embrapa Pantanal. Documentos, 168). 2020. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1129220

Santos, S.A.; Cardoso, E.L.; Valls, J..M.; Pott, A. Natural pastures of the Pantanal: diversity, productive potential and dynamics. In: Damasceno-Junior, G.A.; Pott, A. (eds.) Flora and vegetation of the Pantanal Wetland. Chap. 10, pp.471-512. Switzerland, Springer. 2021.

Santos, S. A.; Salis, S. M.; Urbanetz, C.; Delben, A.; Franco, J. L.; Comastri Filho, J. A.; Santos, P. M. Recomendações técnicas para o planejamento da introdução de forrageiras exóticas de forma sustentável no Pantanal. Corumbá: Embrapa Pantanal (Embrapa Pantanal. Documentos, 176). 2020.

Schmidt, I.B.; Moura, L.C.; Ferreira, M.C.; Eloy, L.; Sampaio, A.B.; Dias, P.A.; Berlinck, C.N. Fire management in the Brazilian savanna: First steps and the way forward. **Journal of Applied Ecology**, v.55, p. 2094-2101, 2018.

Schmidt, I. B.; Eloy, L. Fire regime in the Brazilian Savanna: Recent changes, policy and management. **Flora**, v. 269, 151613, 2020.

Kata, J.D.; Duchardt, C.; Englec, D.M.; Miller, J.R.; Debinski, D.M.; Harr, R.N. Constraints to restoring fire and grazing ecological processes to optimize grassland vegetation structural diversity. **Ecological Engineering**, v.95, p.865-875, 2016.

Soares, R. V**. Incêndios Florestais: Controle e uso do fogo**. Curitiba: FUPEF, 1985. 213p.

Souza Filho, A.P.S.; Mascarenhas, R.E.B.; Dutra, S. Manejo de plantas daninhas de áreas de pastagens cultivadas. In: Teixeira Neto, J. F; Costa, N. A. da. (ed. técnicos). Criação de Bovinos de Corte no Estado do Pará.Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. p. 44–72.

Taylor Jr., C.A. Targeted grazing to manage fire risk. In: Launchbaugh, K., Walker, J. (Eds.), Targeted grazing: a natural approach to vegetation management and landscape enhancement. American Sheep Industry Association, Centennial, CO, USA, pp. 107-112. 2006.

Teixeira, J.; Souza, L.; Le Stradic, S.; Fidelis, A. Fire promotes functional plant diversity and modifies soil carbon dynamics in tropical savanna. **Science of The Total Environment,** v.812, n.15, 2022, 152317.

Torres, F. T. P.; Lima, G. S. Manual de Prevenção e Combate de Incêndios Florestais / Editores Fillipe Tamiozzo Pereira Torres e outros – Viçosa, MG: Os Editores, 2020. 178 p.

Viegas, D.X. Parametric Study of an Eruptive Fire Behaviour Model. **International Journal of Wildland Fire**, v.15, p. 169-177, 2006.

Zanini, G.D.; Sbrissia, A.F. Fogo em pastagens: estratégia de manejo? **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.12, n.1, p.94-103, 2013.

14

Métodos para avaliação de pastagens e plantas forrageiras

Erick Rodrigo da Silva Santos[1]
Ana Caroline Cerqueira de Melo Vasco[2]
Liliane Severino da Silva[3]
David Mirabedini Jaramillo[4]
Gleise Medeiros da Silva[1]

Introdução

Existe uma variedade de técnicas experimentais que podem ser utilizadas para avaliar plantas forrageiras. Os tipos de estudo e métodos utilizados irão depender principalmente das respostas avaliadas e do objetivo do sistema de produção final o qual o estudo propõe fazer recomendações. Estudos em pequenas parcelas, casa de vegetação, laboratórios e a pasto podem diferir amplamente em metodologias. Por exemplo, um experimento de pequena parcela que visa avaliar parâmetros de

[1] Assistant Professor in Forage Science, Department of Agricultural, Food, and Nutritional Science, University of Alberta;
[2] Assistant Professor of Equine Studies, Equine Studies Starks Center, Midway University;
[3] Assistant Professor, Extension and Research Forage Agronomist, Animal and Veterinary Sciences Department, Clemson University;
[4] Research Animal Scientist; United States Department of Agriculture (USDA) – Agricultural Research Service, U.S. Dairy Forage Research Center.

produção e valor nutritivo de diferentes cultivares da mesma espécie de planta forrageira pode ter uma parcela de 4 m^2 como unidade experimental. Por outro lado, um experimento que visa comparar a produtividade animal em diferentes tipos de pasto pode utilizar unidades experimentais de até 1 hectare ou mais. Por causa da variedade de experimentos que podem ser conduzidos e suas distintas finalidades, os métodos para a avaliação de certos parâmetros utilizados em um tipo de experimento podem ser completamente inviáveis em outros. Coletar toda a massa de forragem para a determinação da taxa de acúmulo de forragem pode ser viável em um experimento de pequenas parcelas. Entretanto, em um experimento a pasto, outra aproximação, como a utilização de gaiolas de exclusão, deve ser utilizada.

Este capítulo, tem como objetivo apresentar algumas metodologias utilizadas em experimentos de forragem, principalmente em experimentos de pequenas parcelas e de pastejo, bem como algumas terminologias e delineamentos experimentais comumente utilizados nestes experimentos.

Terminologias

As terminologias mencionadas a seguir são apresentadas por Allen et al. (2011) no documento intitulado "*An international terminology for grazing lands and grazing animals*" e traduzidas em tradução livre. O referido documento teve como objetivo desenvolver um consenso de termos e definições afim de garantir uma clara comunicação internacional para áreas e animais de pastejo. Apenas uma pequena fração das terminologias descritas serão apresentadas, com o simples intuito de informar os termos que serão apresentados ao decorrer deste capítulo.

Forragem: parte comestíveis de plantas, exceto os grãos, que podem proporcionar alimento para os animais em pastejo ou ser colhidas para alimentação.

Área de pastagem: área destinada à produção de forrageiras exóticas ou nativas, para colheita pelo pastejo, corte ou ambos. Podendo ser: anual, cultivada, permanente, temporária, naturalizada, nativa e natural.

Pastagem: tipo de unidade de manejo de pastejo cercada e separada de outras áreas por cerca ou outras barreiras e dedicada à produção de forragem para colheita, principalmente pelo pastejo.

Unidade de manejo de pastejo: área total de terra utilizada para dar suporte a animais em pastejo por um tempo definido, normalmente um ano.

Piquete: área de pastejo que é uma subdivisão de uma unidade de manejo de pastejo e é fechada e isolada de outras áreas por cerca ou outras barreiras.

Massa de forragem: peso seco total de forragem por unidade de área de solo acima de um nível de referência definido, frequentemente o nível do solo, em um momento específico do tempo.
Acúmulo de forragem: aumento da massa de forragem por unidade de área e por unidade de tempo, representando o balanço entre crescimento, senescência, decomposição de tecidos e órgãos mortos e o consumo pelos animais.
Taxa de lotação: relação entre o número de animais e a área total em uma ou mais unidades utilizadas ao longo de um período específico; uma relação entre animais e área ao longo do tempo.
Pressão de pastejo: A relação entre o peso vivo do animal e a massa de forragem por unidade de área da unidade específica de terra que está sendo pastejada em um determinado momento; uma medida instantânea da relação entre o animal e a forragem.
Oferta de forragem: A relação entre a massa de forragem e o peso vivo dos animais por unidade de área da unidade específica de terra que está sendo pastejada em determinado momento; uma medida instantânea da relação entre a forragem e os animais. O inverso da pressão de pastejo.
Composição botânica: proporções relativas dos componentes vegetais de um dossel acima de uma determinada altura de amostragem, preferencialmente ao nível do solo.

Delineamentos Experimentais

A escolha do delineamento experimental apropriado desempenha um papel fundamental na pesquisa científica e na obtenção de resultados confiáveis e significativos. Eles são projetados para controlar variáveis, minimizar vieses e maximizar a capacidade de extrair conclusões válidas a partir dos dados coletados. Muitas vezes o hábito do pesquisador pode influenciar nesta escolha, porém, este critério não deveria ser levado em consideração ao escolher o delineamento experimental mais apropriado para um estudo específico. Esta seção tem como objetivo apresentar alguns dos delineamentos experimentais mais comumente utilizados em estudos com pastagens e plantas forrageiras, além de apontar principais vantagens e desvantagens na utilização de cada um desses delineamentos.

Delineamento Inteiramente Casualizado

O Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) é um dos mais simples e fundamentais tipos de experimentos usados em pesquisa científica. Ele é amplamente utilizado para testar a eficácia de diferentes tratamentos ou condições em um ambiente controlado. O objetivo do DIC é reduzir a influência de variáveis não controladas e maximizar a aleatoriedade na atribuição dos tratamentos a unidades experimentais. Assim, a utilização do DIC é útil, quando as unidades experimentais são homogêneas, ou seja, a variação entre elas é pequena (não existe a necessidade de impor blocos).

Vantagens

- Simplicidade na análise dos dados.
- Os graus de liberdade para estimar o erro experimental são maximizados.

Principal desvantagem

- Pode ser ineficiente devido todas as variações, exceto as devidas ao tratamento, aparecem no resíduo. Isso pode levar a resíduos inflacionados e incapacidade de detectar diferenças de tratamento.

Delineamento em Blocos Casualizados

O Delineamento em Blocos Casualizados é frequentemente usado para reduzir a variabilidade e controlar fontes específicas de variação que podem afetar os resultados de um estudo. Esse delineamento é especialmente útil quando existe uma fonte de variação adicional que se acredita ser relevante para o experimento, além das variações aleatórias normais.

O *bloco* é um grupo relativamente homogêneo de unidades experimentais, com as unidades dentro do bloco recebendo diferentes tratamentos. O bloco tem como finalidade alocar grandes fontes de variação entre os blocos e diminuir a variação dentro do bloco. Exemplos que podem influenciar na decisão para blocar incluem a fertilidade do solo, topografia do campo e exposição ao ambiente.

Vantagens

- Simplicidade na análise.
- O sacrifício de relativamente poucos graus de liberdade por causa dos blocos pode aumentar o poder do teste, particularmente nos casos em que o efeito de bloco é grande.

Principais desvantagens

- Possível falta de poder no teste, particularmente em experimentos grandes, devido à variação entre os blocos.
- Em experimentos com poucos graus de liberdade no resíduo, são perdidos graus de liberdade adicionais por causa do efeito de bloco.

Delineamento em Parcelas Subdivididas

Esse delineamento é utilizado quando se tem interesse em testar o efeito de um fator principal e um fator secundário e se deseja entender as interações entre eles. Ele permite uma abordagem mais refinada para a análise de experimentos complexos. Por exemplo, um pesquisador que visa avaliar o efeito de frequência de corte (anual ou bienal) e níveis de adubação nitrogenada (0, 50 e 100 kg N ha^{-1} ano^{-1}) e suas interações em Palma forrageira (*Opuntia* ou *Nopalea*), decide utilizar este delineamento para obter as respostas desejadas. Considerando que o a frequência de corte é o fator principal, este é alocado na parcela principal (Fator A). Os níveis de adubação nitrogenada são então alocados para as parcelas subdivididas (Fator B). É importante mencionar que este delineamento pode ser blocado ou não. Para isto, as observações descritas acima devem ser levadas em consideração.

Quando usar?

- Um dos fatores requer uma quantidade de material experimental maior do que o outro.
- Quando se deseja maior poder no teste para certos fatores (o da parcela subdividida).

Vantagens

- Conveniência nas operações de campo.

- Habilidade de detectar pequenas diferenças nos tratamentos das parcelas subdivididas.

Desvantagem

- Grande perda nos graus de liberdade da parcela principal.

Experimentos em pequenas parcelas

Em experimentos em pequenas parcelas, a unidade experimental é a parcela. Em contraste com experimentos de pastejo, nos quais a unidade experimental é o pasto, o uso de pequenas parcelas permite um maior controle experimental. A possibilidade de maior controle sobre as variáveis que afetam as respostas nesse tipo de experimento faz com que o mesmo seja usado comumente em experimentos agronômicos. Entretanto, o uso de pequenas parcelas não é recomendado quando o objetivo é a avaliação de plantas forrageiras destinadas ao pastejo. Isto porque alguns cultivares podem persistir sob coleta em pequenas parcelas, mas não sob pastejo, impossibilitando a utilização dos achados experimentais em condições reais. Comumente, estas unidades experimentais são utilizadas em experimentos em que vários cultivares são testadas, quando o material para plantar são limitados e quando a forragem é destinada à produção de feno, entre outros.

Tamanho das parcelas

O tamanho das parcelas é determinado por uma gama de fatores. Entre os fatores estão o tamanho do equipamento de coleta, a disponibilidade de material para plantar e altura e hábito de crescimento da planta. O tamanho mínimo recomendado é de 4 a 6 m^2, com o objetivo de acomodar um número de plantas suficientes. Parcelas menores podem interferir na representatividade dos dados, enquanto parcelas maiores do que o recomendado, podem aumentar a variabilidade entre as parcelas. Como regra geral, o comprimento da área coletada deve ser duas vezes a altura da planta e a largura da borda deve ser igual à altura da planta. Além do tamanho da parcela, o tamanho das bordas entre as parcelas representa uma importante fonte de variabilidade. As plantas encontradas nas extremidades da parcela estão sob condições diferentes daquelas encontradas no centro. Isto porque as plantas da extremidade podem ser afetadas pelo tratamento da parcela adjacente ou por ser submetida à uma menor competição por falta de forragem em um dos lados da parcela. Para diminuir este efeito das bordas, recomenda-se restringir as

mensurações na faixa no centro da parcela, excluindo as respostas das extremidades (Figura 1). Esta diferença entre área de coleta e área da parcela deve ser levada em consideração ao delinear o experimento.

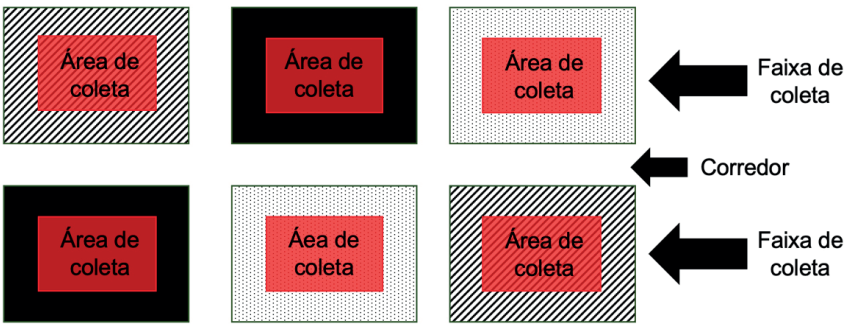

Figura 1. Demonstração da faixa de coleta de parcelas experimentais.

Número de parcelas e mapa experimental

O número de parcelas deve ser determinado pelo teste de força. Entretanto, um número comum de repetições é entre 3 e 5. Número de parcela menor do que o recomendado pelo teste de força desvalida os resultados do experimento, enquanto um número maior aumenta a variabilidade entre as parcelas, diminuindo a precisão experimental, e aumenta desnecessariamente o custo e o tempo de coleta. Uma vez determinado o número de repetições, o número total de parcelas é determinado pelo produto do número de tratamentos e o número de repetições.

O esquema do campo experimental deve ser planejado em um mapa, o qual representa a organização das parcelas dentro do campo experimental (Figura 10.2). As parcelas devem ser devidamente identificadas por número de parcela e tratamento para evitar erros de aplicação de tratamento e coletas. O exemplo descrito na Figura 2 mostra um experimento de pequenas parcelas com oito tratamentos e três repetições por tratamento, totalizando 24 unidades experimentais. A distribuição das parcelas em cada faixa por repetição, que é o bloco do experimento, deve ser feita de forma aleatória.

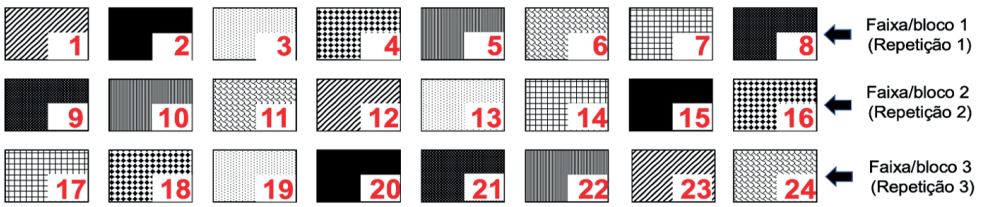

Figura 2. Exemplo de mapa experimental de um experimento com 24 pequenas parcelas, com identificação de tratamento e número de parcela.

Determinação de massa de forragem

A altura e frequência de coleta de material para determinação de massa de forragem é determinada pela planta quando a altura e frequência não são variáveis independentes (tratamentos). Neste caso, a altura e frequência de coleta devem seguir valores estabelecidos na literatura. O método utilizado para coleta do material é determinado pela disponibilidade de equipamento de coleta, área a ser coletada e capacidade da estufa para secar as amostras, entre outros fatores. A massa de forragem pode ser determinada utilizando-se métodos como coleta manual ou mecânica.

Na coleta mecânica (Figura 3), a área colhida é determinada pela largura do equipamento. Como as bordas devem ser descartadas, a largura da parcela deve ser determinada pela largura do equipamento somada com a largura das bordas. Neste método, a massa de forragem é mensurada pelo peso total da matéria fresca coletada e uma amostra chamada de subamostra. A subamostra é coletada após homogeneização da amostra total, pesada para quantificação de matéria fresca, submetida a determinação da matéria seca, onde a amostras são mantidas a 60 °C por 48 a 72 horas ou até que o peso das amostras seja constante. A matéria seca da subamostra é posteriormente utilizada para determinação da matéria seca total da área coletada de acordo com a equação: Massa de forragem (kg matéria seca/ha) = [(matéria seca da subamostra x peso total da parcela)/área coletada da parcela]. Neste caso, quando se deseja quantificar valor nutritivo, coleta-se uma subamostra adicional do material coletado para peso total da área coletada.

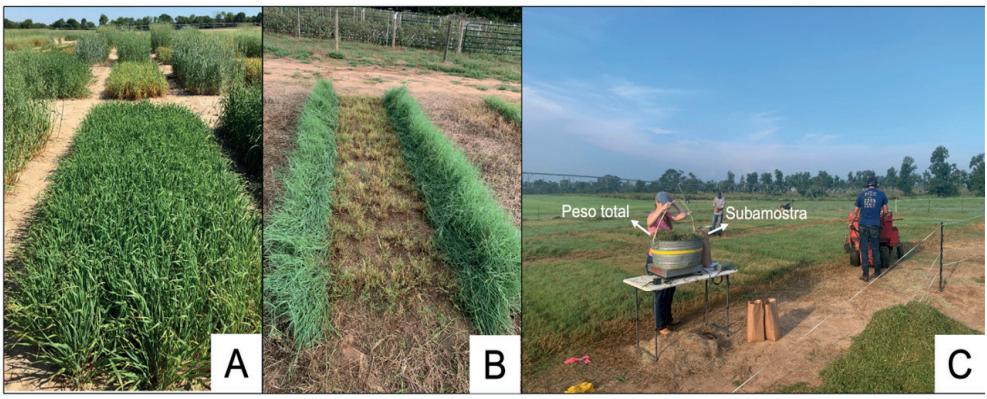

Figura 3. Método mecânico no qual a largura da parcela (A) determinada pela largura do equipamento e a área de borda. Na determinação de massa de forragem, apenas a faixa do centro da parcela é coletada e as bordas são descartadas (B). Posteriormente, o peso total da área coletada é quantificado e uma subamostra é coletada e pesada para determinação da matéria seca (C).

Quando a coleta mecânica não é possível, pode-se utilizar a coleta manual. Coleta-se cerca de duas ou três áreas conhecidas, dependentes da área total da parcela, utilizando-se de um quadrado ou círculo (Figura 4). Neste método, toda a amostra coletada é quantificada para matéria fresca e submetida a determinação da matéria seca. Esta mesma amostra é comumente utilizada para determinação da composição botânica e valor nutritivo, o que não ocorre quanto se utiliza do método mecânico. Uma vez determinada a massa de forragem das áreas coletadas, pode-se utilizar dos valores para estimar a massa por hectare.

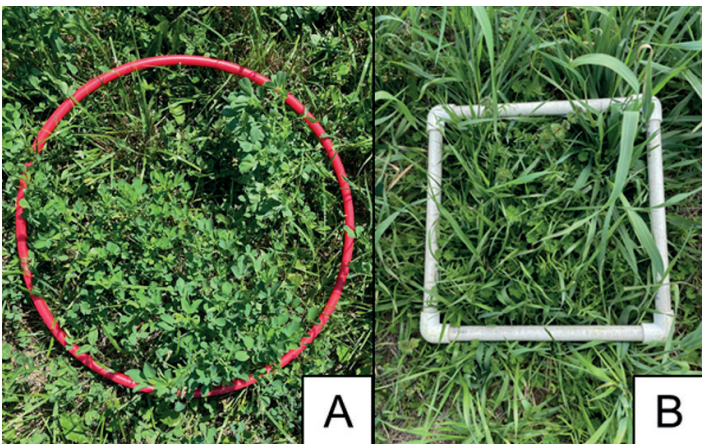

Figura 4. Círculo (A) ou quadrado (B) com áreas conhecidas utilizados para coleta manual para determinação de massa de forragem em pequenas parcelas.

Além dos métodos diretos de coleta mecânica e manual, a massa de forragem também pode ser estimada utilizando-se de métodos aleatórios como o método de *rank* ou dupla amostragem. Esta metodologia é descrita em detalhes no subtópico *Experimentos de pastejo*. Em experimentos de pequenas parcelas, este método é pouco preciso, particularmente quando diferenças entre os tratamentos são pequenas. Por este motivo, opta-se frequentemente pelos métodos destrutivos, de coleta direta, como os de coleta mecânica ou manual, uma vez que estes são métodos possíveis e práticos em pequenas parcelas.

Composição botânica

A descrição da vegetação reflete o tipo de manejo aplicado sobre ela. Por isso, a mensuração da composição botânica é uma variável importante em experimentos que avaliam as respostas de plantas forrageiras. Para quantificação da composição botânica, as amostras são separadas manualmente em grupos de plantas, como gramíneas, leguminosas e ervas daninha, ou em subgrupos, como gramíneas específicas dentro de uma mistura. Os métodos mais comuns utilizados em pequenas parcelas é a separação manual do material, utilizando amostras coletadas por método mecânico ou manual, e a estimativa visual chamada de *Rank de peso seco* (Mannetje & Haydock, 1963). Para separação manual, o método da coleta é dependente do tipo de método utilizado para determinação da massa de forragem.

Quando a massa de forragem é estimada por método mecânico, a composição botânica pode ser determinada (I) coletando uma amostra em uma faixa adjacente à faixa coletada para massa de forragem, (II) coletando uma subamostra do total coletado para quantificar massa de forragem ou (III) utilizando a subamostra coletada para determinação da matéria seca. É recomendado separar a amostra em grupos antes de secá-la para determinação da matéria seca, uma vez que torna-se mais difícil separá-la seca. Uma vantagem do uso da amostra da faixa lateral é que não é necessário adicionar o seu peso no peso total para determinar massa de forragem, o que diminui o número de cálculos matemáticos. Vantagens do uso de uma subamostra do total coletado inclui a não necessidade de coletar uma amostra adicional apenas para determinação da composição botânica e, quando coletada após a pesagem da amostra total, a não necessidade de cálculos adicionais. O uso subamostra coletada para determinação da matéria seca torna-se mais complicado, uma vez que a separação deve ser feita cautelosamente para não perder nenhum material, interferindo na determinação da matéria seca, e requer cálculos matemáticos adicionais. Quando a massa de forragem é estimada por meio de método manual, a composição botânica é feita na amostra coletada para determinação da matéria seca.

Entre os métodos alternativos para estimar composição botânica está a avaliação visual conhecida como rank de peso seco (Mannetje & Haydock, 1963). Este método consiste na avaliação de uma área conhecida, organizando as espécies em por ordem de proporção do primeiro ao terceiro colocado. A proporção em que cada espécie aparece como primeiro, segundo e terceiro colocado é então multiplicado por 70,2; 21,1 e 8,7, respectivamente, e somadas para estimar a proporção de peso seco de cada uma das espécies. Apesar de rápido, este método apresenta a menor acurácia dentre os métodos comumente utilizados em estudos de pequenas parcelas.

Coleta de amostras para valor nutritivo

Para mensurações de valor nutritivo, as amostras podem ser coletadas (I) da faixa adjacente à faixa coletada para massa de forragem, (II) usando uma subamostra do total coletado para quantificar massa de forragem, (III) à mão usando um quadrado de área conhecida e uma ferramenta para cortar a forragem na faixa reservada para mensuração da massa de forragem ou (IV) à mão mimetizando o pastejo animal. Quando os métodos I, II e III são utilizados, as amostras podem ser contaminadas com solo devido ao método de coleta (mecânico) e o valor nutritivo pode não ser representativo uma vez que uma pequena faixa ou área é coletada. Além disto, as amostras podem não representar a fração desejada. Quando o método IV é utilizado,

as amostras são coletadas aleatoriamente em vários pontos, o que possibilita uma amostra mais representativa, e a contaminação com solo é nula ou mínima.

A escolha do método de coleta para determinação do valor nutritivo depende de vários fatores. Entre eles, a estrutura da forragem e o comportamento ingestivo do animal, o qual a forragem é destinada (Muir et al., 2008). O método que mais se assemelha ao comportamento de pastejo do animal o qual a forragem é destinada, possivelmente proporciona resultados mais acurados em condição experimental com pequenas parcelas. Estudos utilizando métodos de coleta em gramíneas apontam que o método de coleta manual, mimetizando o pastejo animal, proporciona resultados mais acurados do que os demais métodos (de Vries, 1995). Muir et al. (2008), comparando métodos de coleta para determinação de valor nutritivo e massa de forragem, sugeriram que a coleta mecânica é mais apropriada para experimentos de pequenas parcelas, quando se avalia forrageiras destinadas à produção de feno ou ao pastejo de animais com baixa seletividade, como bovinos, enquanto a coleta manual é mais apropriada para avaliação de forragens destinadas ao pastejo de animais mais seletivos, como caprinos e equinos.

Experimentos de pastejo

Massa e Acúmulo de Forragem

Em experimentos de pastejo, a massa de forragem pode ser medida por métodos direto e indiretos (Burns et al., 1989). A amostragem direta (ou destrutiva) é a mais comum e consiste em cortar a forragem de uma área delimitada por moldura metálica, de madeira ou policloreto de vinila (PVC) (Figura 4). Cada área amostrada representa uma fração da área total e os pontos amostrados são utilizados para cálculo do valor médio de massa de forragem. Estratégias de aleatorização de escolha dos pontos a serem amostrados são frequentemente empregadas, visando diminuir erros associados ao acaso ou de viés, incluindo do operador ou do instrumento. O tamanho e formato da estrutura de amostragem e número de amostras coletadas devem ser definidos visando otimizar a representação da variabilidade e de componentes estruturais da área a ser amostrada. Para áreas extensas e com elevada heterogeneidade, a caracterização adequada exige inúmeras amostras, o que se torna a avaliação trabalhosa e demorada. Dessa forma, uma alternativa é a utilização de método indireto que é não destrutivo, mas permite correlacionar resultados com a massa de forragem real. O método indireto pode ser realizado por estimativa

visual (nota ou valor de massa de forragem), régua, ou prato ascendente (Figura 5). Através do método indireto, múltiplas amostragens são feitas na área visando melhor caracterização da área total e sua heterogeneidade.

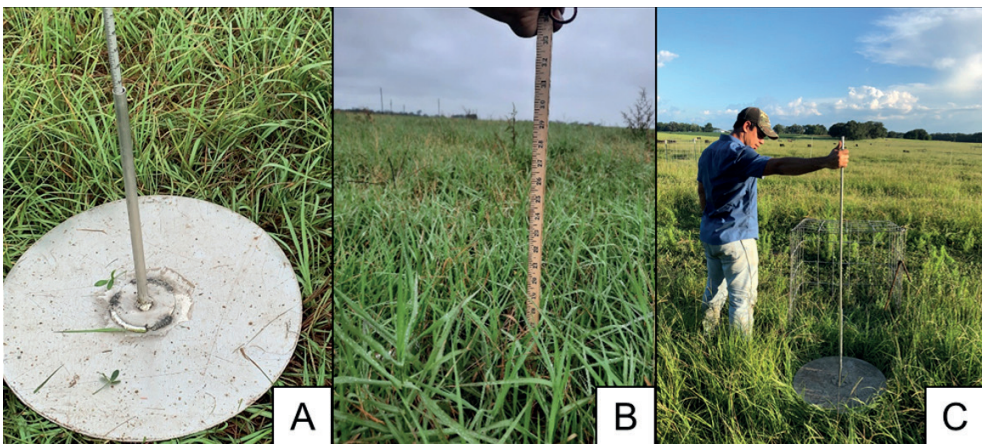

Figura 5. Prato de alumínio ascendente (A) e régua (B) utilizados para a medição da altura dos pontos utilizados na dupla amostragem. Retirada da altura de dentro da área da gaiola de exclusão após período de exclusão (C).

Estimativas visuais de determinação de massa de forragem requerem treinamento e experiencia do avaliador para serem acuradas. O ideal é que haja um treinamento através de coleta de múltiplo pontos onde a estimativa visual foi realizada. Para a coleta, uma moldura de área conhecida deve ser utilizada, e, em seguida, a amostra deve ser seca em estufa de pré-secagem até peso constante. Esse processo auxilia na calibração de estimativa visuais através da determinação de massa real de forragem nos pontos coletados. Outro método indireto consiste na utilização de régua para determinação de altura do dossel forrageiro (Figura 5). Este método exige a calibração das medidas obtidas através de uma correlação com amostras coletadas na área.

O prato ascendente considera a altura e densidade do dossel forrageiro, dessa forma é mais acurado para determinação de massa de forragem, exceto para espécies com perfilhos mais evidentes, como Milheto, por exemplo. Em experimentos de pastejo, a utilização da *dupla amostragem* é comum e consiste na utilização do prato ascendente (método indireto) e calibração de massa de forragem contrastantes (pontos de massa de forragem máxima, média e mínima) (método direto). O uso

do prato ascendente permite múltiplas leituras através do dossel forrageiro e a quantificação da massa de forragem é efetuada através da calibração por regressão com as amostras coletadas de forma direta. Em alguns casos, a coleta de amostras para calibração é feita em menor frequência do que as medições com o prato ascendente, uma vez que aquela exige corte de amostras, o que é limitante em unidades experimentais menores. Para leitura com o prato ascendente, os pontos devem ser escolhidos de forma aleatória afim de representar a condição do dossel forrageiro e essas leituras são utilizadas na curva de calibração para obter os valores de massa de forragem. A escolha de pontos a serem coletados deve ser representativa da massa de forragem máxima, média e mínima para cada avaliação, assim, a área de pastagem deve avaliada para adequada escolha dos pontos que representam aquelas condições.

Exemplo de cálculo de dupla amostragem

Para os cálculos da dupla amostragem, a altura com prato ascendente e a massa de foragem dos pontos coletados pelo método direto devem ser digitados em Excel. Em seguida, no gráfico gerado com essa informação, a linha de tendencia deve ser inserida e a equação e o R^2 obtidos. A equação obtida com os pontos de calibração pelo método direto (Figura 6) será utilizada para cálculo da massa média de forragem com as leituras realizadas com o prato ascendente somente (método indireto), conforme Tabela 1.

Tabela 1. Leituras com prato ascendente e respectivas massa de forragem coletadas para calibração

Ponto	Altura (cm)	Massa de Forragem (kg MS ha^{-1})
1	15	3360
2	11	2640
3	24	4503
4	3	250
5	9	2160
6	22	4320
7	19	3920
8	5	1600
9	19	3680
10	17	1230

A quantidade de pontos amostrados dependerá de fatores como o tamanho da área que se tem o objetivo de representar e da heterogeneidade da pastagem. Geralmente, quanto maior o número de pontos amostrados, mais representativa a equação (melhor R^2). Entretanto é importante balancear a quantidade de pontos amostrados com a onerosidade do processo. Também é importante coletar pontos que represente os dois extremos da pastagem (pontos altos e baixos), assim como pontos medianos.

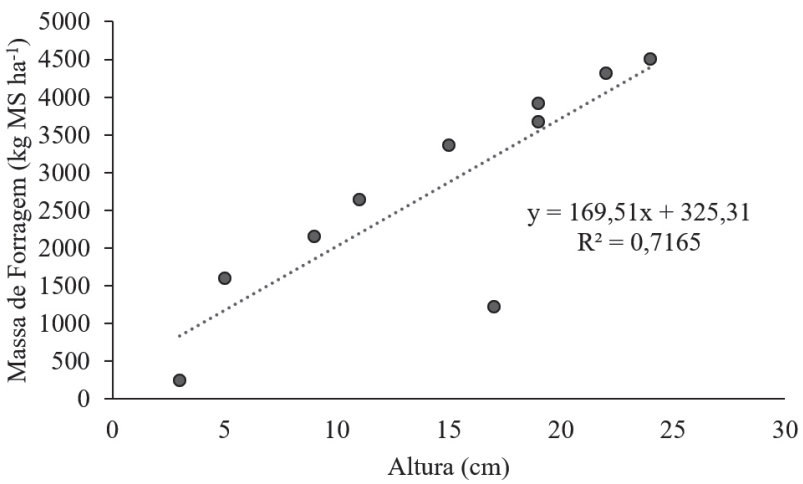

Figura 6. Calibração de dados coletados para dupla amostragem.

Equação: massa de forragem= 169.51 * X + 325.31. Onde X é a altura média dos pontos coletados com prato ascendente. Por exemplo, altura média de 50 pontos igual a 12 cm, então, massa de forragem é igual a 2359 kg MS ha^{-1}.

Em experimentos de pastejo, a determinação de massa de forragem é essencial para monitorar o balanço de forragem disponível e estimar taxa de lotação e período de lotação. A taxa de lotação é definida como o número de animais pastejando uma área por um período específico. Quando a taxa de lotação está incorreta, isto pode levar ao subpastejo ou sobrepastejo de áreas, o que compromete a utilização da forragem e rentabilidade da operação, e pode levar a degradação de áreas.

A determinação da taxa de acúmulo de forragem sob pastejo dependerá do tipo de lotação utilizada no estudo (contínua ou intermitente). Sob lotação

intermitente, a taxa de acúmulo de forragem pode ser calculada como a diferença entre a massa de forragem do pré-pastejo e a massa de forragem do pós-pastejo do ciclo anterior, dividido pela quantidade de dias de descanso. Em experimentos sob lotação continua, um grau de complexidade é adicionado, uma vez que os animais têm acesso a todo pasto o tempo inteiro. Nestes casos, a taxa de acúmulo de forragem pode ser avaliada utilizando-se gaiolas de exclusão (Figura 5) em conjunto com a equação obtida pela dupla amostragem. Assim, a altura do ponto é mensurada e uma gaiola de exclusão é colocada no local, objetivando evitar que os animais pastejem a área. Após determinado período, comumente 14 dias (podendo variar de acordo com o experimento), a nova altura do ponto é mensurada. Para calcular a taxa de acúmulo de forragem (kg ha^{-1} d^{-1}) é necessário que primeiro se calcule a massa de forragem de cada um dos ciclos (pré e pós), utilizando-se a equação da dupla amostragem. Posteriormente, calcula-se a diferença entre a massa de forragem da pós (X) e da pré-amostragem (X-1), e divide-se pela quantidade de dias entre as observações. Posteriormente, um novo ponto e representativo do pasto deve ser escolhido para uma nova observação. É importante que os pontos escolhidos para se pôr as gaiolas de exclusão sejam representativos da altura do pasto. O número de gaiolas de exclusão ideal dependerá do tamanho da pastagem, mas normalmente de 3 a 4 gaiolas são utilizadas por unidade experimental. De forma geral, uma quantidade maior de gaiolas aumentará a precisão da medida, porém pode afetar a logística do experimento e se tornar inviável.

Controle da intensidade de pastejo e escolha taxa de lotação

A intensidade de pastejo desempenha um papel crucial na determinação da produtividade do pasto. Portanto, a seleção da intensidade de pastejo a ser utilizada em um experimento específico assume importância fundamental e acarreta consequências significativas. A intensidade de pastejo pode ser influenciada por fatores que levam em consideração exclusivamente a vegetação, como a matéria seca residual ou a altura da planta após o pastejo, ou por medidas que abrangem, tanto os aspectos vegetais, quanto animais, como a massa de forragem ou a pressão de pastejo. Além disso, é necessário considerar se um ou mais níveis de intensidade de pastejo devem ser impostos e se a taxa de lotação será fixa ou variável.

Experimentos com taxa de lotação fixa

Nos experimentos com taxa de lotação fixa (onde a lotação fixa envolve a manutenção constante de um determinado número de animais por área durante um

período determinado, sem implicar em pastejo contínuo), é recomendável empregar mais de uma taxa de lotação. Dessa forma, existe a possibilidade de uma ou mais dessas taxas de lotação se aproximarem do valor ideal. No entanto, em certos ambientes, a previsão do valor ótimo torna-se difícil, devido às flutuações sazonais. Uma das limitações associadas à taxa de lotação fixa é a potencial ocorrência de subpastejo ou superpastejo em partes da pastagem. Portanto, em experimentos que utilizam taxa de lotação fixa, é ideal que se tenha experiência prévia com o tipo de planta forrageira utilizada. Isso aumenta as chances de selecionar uma taxa de lotação fixa que se aproxime do valor ideal.

Experimentos com taxa de lotação variável

Nesse tipo de experimento, o número de animais em uma área determinada é modificado conforme necessário para manter a massa de forragem ou altura do dossel em um nível ótimo. Para alcançar esse objetivo, são utilizados animais de teste (que permanecem no experimento durante todo o período) e animais *put-and-take* (usados para ajustar a massa de forragem ou altura do pasto). Esse arranjo possibilita uma estimativa da capacidade de suporte por um curto período (semanas, meses ou partes da estação de pastejo). Além disso, o ajuste pode ser realizado através da colheita de forragem excedente de uma área específica do pasto ou introduzindo forragem colhida de outra área para suprir as necessidades.

Usando a oferta de forragem para ajustar a taxa de lotação

O controle da taxa de lotação é uma medida de manejo em pastagens que tem grande impacto na produção animal. No entanto, a taxa de lotação é apenas indiretamente relacionada com a produção animal, uma vez que ela não possui nem um indicador da espécie utilizada, massa de forragem, estrutura do dossel ou outras características da pastagem (Sollenberger et al., 2005). Desta forma, quando uma mesma taxa de lotação é utilizada em uma variedade de pasto, respostas variadas podem ser obtidas.

Sollenberger et al. (2005) propõem uma abordagem que não inclui uma unidade de tempo no cálculo de oferta de forragem, permitindo uma comparação da oferta de forragem em uma variedade de métodos de pastejo e estratégias de manejo. Este método, que também foi previamente demonstrado por McCartor and Rouquette (1977), expressa a massa de forragem e o peso vivo dos animais com base na unidade de pastejo completa, e não apenas em um piquete de um sistema de rotação.

Em sistemas de lotação contínua, a oferta de foragem pode ser calculada como:

$$Oferta\ de\ forragem = \frac{Massa\ de\ forragem\ (kg\ ha^{-1})}{Peso\ vivo\ animal\ (kg\ ha^{-1})}$$

Apesar do exemplo utilizar o peso vivo animal (kg ha-1) como denominador, a quantidade de unidades animal também pode ser utilizada.

Em um sistema de lotação intermitente, a mesma abordagem pode ser utilizada, com o cálculo sendo aplicado à toda unidade de pastejo. Assim, o pesquisador pode optar por amostrar a massa de forragem antes e depois do pastejo em mais de um piquete por ciclo de pastejo e usar a média da massa de forragem pré-pastejo e a média da massa de forragem pós-pastejo no cálculo da quantidade de forragem. Em seguida, a quantidade média da oferta de forragem pode ser calculada com base nessas duas medidas instantâneas. Desta forma, é possível pré-determinar a oferta de foragem a ser aplicada em um determinado experimento e utilizar animais *put-and-take* para alcançar o valor ideal. Assim, o pesquisador tem a habilidade de ajustar a taxa de lotação da pastagem e evitar problemas que normalmente podem aparecer em estudos com taxa de lotação fixa, como o subpastejo ou superpastejo de determinadas áreas da pastagem.

Composição Botânica

Para mensuração de composição botânica da pastagem, o método direto, também chamado de separação manual, como descrito acima, não é comumente recomendado devido ao tamanho da área, o que requer um número maior de amostra para mensurações representativas e acuradas. Além disto, o método direto é destrutivo, o que afeta negativamente outras mensurações em estudos a pasto. Alternativamente, pode-se utilizar de outros métodos, como o método de Mannetje & Haydock (1963), como mencionado acima, ou o método de dupla amostragem. No método de dupla amostragem dupla, calibrações visuais, chamado de método indireto, são feitas na mesma área onde as amostras serão coletadas para separação manual (Ortega-S et al., 1992). Este método é bastante subjetivo e, por este motivo, requer treinamento do avaliador e que as mensurações sejam feitas pelo(s) mesmo(s) avaliador(es) dentro de um mesmo bloco. A composição isotópica de carbono nas

fezes dos animais também pode ser utilizada como estimativa da composição botânica (Jones & Lascano, 1992). Entretanto, a composição isotópica é representativa da seleção da dieta pelo animal e pode não representar com acurácia a composição botânica.

Valor nutritivo

O valor nutritivo, em estudos que investigam as respostas das plantas ao estresse causado pelo pastejo, é geralmente estimado por meio da análise da composição química (por exemplo, proteína bruta) ou da digestibilidade de uma amostra representativa. Embora amostras coletadas para determinar a massa de forragem possam ser utilizadas para tal fim, é importante reconhecer que frequentemente essas amostras podem não ser representativas devido à heterogeneidade do pasto. Por exemplo, se a amostra coletada para avaliar a massa de forragem englobar materiais vegetais abaixo da altura de pastejo, isso pode resultar em uma subestimação do verdadeiro valor nutritivo do pasto (Sollenberger et al., 1995). Caso a massa de forragem represente o pasto como um todo, a composição química ou digestibilidade da forragem acumulada ou consumida (que desapareceu durante o pastejo) pode ser calculada pela diferença entre amostras coletadas pré e pós pastejo (Meijs et al., 1982; Sollenberger et al. 1995).

Outro método que pode ser utilizado é o pastejo simulado. Este método, consiste em coletar manualmente de 20 a 50 subamostras que representem a fração do dossel que está sendo pastejada. As amostras são homogeneizadas em uma amostra composta, antes de serem processadas (secas, moídas e analisadas). Este método, tem uma melhor eficácia, quando a seletividade do animal em pastejo é mínima. Por exemplo, em sistemas de pastejo intermitente sob média ou alta intensidade de pastejo (Sollenberger et al., 1995).

Densidade e demografia de perfilhamento

Perfilho é a unidade básica de pastagens e é formado por uma cadeia de unidades de crescimento, denominadas fitômeros que compreendem uma folha (lâmina e bainha), entrenó, nó, gema axilar e uma ou mais raízes adventícias (Hodgson, 1990). Para determinação do padrão de perfilhamento, a densidade e demografia populacional de perfilhos são utilizadas. A densidade populacional é feita através da contagem de perfilhos dentro de uma área delimitada por moldura metálica, de madeira ou PVC (Figura 5). As avaliações ocorrem em pontos que representam a

condição média da área no momento de amostragem e são efetuadas em intervalos, que representam a recomendação para intervalo de crescimento da espécie forrageira. Durante a contagem, os perfilhos serão classificados em basais, aéreos ou reprodutivos, para que seja possível determinar-se a participação de cada grupo de perfilhos ao longo do período de avaliação. A determinação do padrão demográfico de perfilhamento é efetuada através da caracterização de dinâmica populacional de perfilhos. Tipicamente, anéis de PVC de diâmetro conhecido são utilizados como unidades de avaliação e são fixados ao solo por meio de grampos de metal em áreas que representem a condição média do dossel. A primeira marcação de perfilhos (geração 1), é feita no momento da fixação dos anéis, sendo que nesta data todos os perfilhos (basais, aéreos e reprodutivos) são marcados com fios de mesma cor. Marcações são efetuadas em intervalos que representam o intervalo de crescimento da espécie forrageira, e a cada nova observação, contam-se os perfilhos vivos da geração anterior e os que apareceram desde a última observação. Cada geração é marcada com fios de cores diferentes para facilitar avaliações subsequentes e contagem de perfilhos sobreviventes. Ao final da avaliação, taxas de aparecimento, sobrevivência e mortalidade de perfilhos são obtidas para cada geração e expressas em perfilhos per 100 perfilhos per dia.

Avaliação da performance animal a pasto

O desempenho animal é uma das principais respostas em grande parte dos experimentos de pastagem, especialmente porque tem implicações diretas na economia de uma determinada operação. A melhor medida da qualidade da forragem é a produtividade animal, desde que as seguintes condições sejam atendidas: a forragem é fornecida *ad libitum*, a forragem é a única fonte de energia e proteína e o potencial genético do animal não é um fator que limita a produção. Ter um conceito claro e uma definição dos objetivos de um experimento, incluindo o propósito e o contexto em que os resultados serão aplicados, é essencial para que as medições do desempenho animal sejam relevantes (Coates & Penning, 2000). Consideração especial precisa ser dada ao propósito de produção de um sistema (por exemplo, carne, leite, fibra e prole), bem como às considerações de mercado relacionadas ao produto (idade, peso e condição dos animais; qualidade de carcaça; qualidade e composição do leite etc.), para que os resultados possam ter impactos adequados e significativos (Coates & Penning, 2000). Esses fatores, entre outros, serão contribuintes importantes para determinar as variáveis de tratamento adequadas que

podem ser aplicadas, quais medições devem ser feitas e como devem ser realizadas. O valor da medição do desempenho animal terá valor limitado, a menos que sejam utilizados procedimentos experimentais adequados.

Estimativa do ganho de peso animal

O ganho de peso corporal animal é a variável predominante de interesse em sistemas de produção de carne, mas não é o único indicador de desempenho animal. Em sistemas de produção de leite, por exemplo, a produção de leite fornece uma estimativa mais abrangente do desempenho animal do que o ganho de peso corporal. O ganho de peso corporal dos animais geralmente é medido utilizando-se pesos sequenciais e estimando a diferença entre as datas apropriadas. Essas medições de peso podem ser obtidas com precisão utilizando-se balanças para animais comumente disponíveis em operações pecuárias.

O ganho de peso animal pode ser calculado como:

$$Ganho\ de\ peso\ médio\ diário = \frac{(peso\ final - peso\ inicial)}{dias\ no\ pasto}$$

Geralmente, a maioria dos ruminantes em pastejo consome de 1 a 3% do seu peso vivo em base de matéria seca. Além disso, em climas quentes a ingestão de água muitas vezes pode exceder 20% do peso corporal do animal (Winchester & Morris, 1956; National Academies of Sciences & Medicine, 2021). Isso é importante porque, sob pastejo, há potencial para variação no peso corporal dentro do mesmo dia, como resultado do padrão diário de pastejo, consumo de água e excreções, que contribuem para alterar o peso corporal do animal ao longo do dia. Essa variabilidade pode ser reduzida utilizando-se rotinas em que os animais são reunidos em instalações de manejo e pesados no mesmo horário do dia. Em situações em que pesar e processar os animais possa levar muitas horas, a ordem em que os animais são pesados também se torna importante, a fim de garantir que haja oportunidade de minimizar a variabilidade (Coates & Penning, 2000).

Existem vários procedimentos e protocolos, que podem ser utilizados em experimentos de pastejo para estimar o peso corporal dos animais. Dois desses procedimentos, incluem a pesagem do animal pós-jejum e a pesagem em dias subsequentes sem a necessidade de impor jejum nos animais. Pesos corporais

pós-jejum são coletados após os animais ficarem sem acesso a alimentação por um determinado período. Muitas vezes, um período de jejum de 12-16 horas é imposto nos animais, mas não existe um padrão específico. Entretanto, é recomendado que períodos de retirada semelhantes sejam utilizados dentro de um experimento para minimizar a variabilidade nos pesos ao longo das avaliações e otimizar a precisão dos resultados. O jejum, geralmente ajuda a reduzir o enchimento do trato digestivo. A água pode ser retida, mas há situações em que isso pode não ser possível, como em casos em que a restrição de água pode causar um estresse fatal nos animais. A retenção de água também pode levar a uma redução na ingestão quando os animais retornam ao pasto, portanto, considerações especiais devem sempre ser tomadas para garantir a segurança desses protocolos.

A pesagem de animais que não são submetidos ao jejum, também pode ser uma técnica apropriada, especialmente em situações em que pode ser difícil remover o alimento e a água dos animais. É recomendado que os animais sejam pesados durante dias subsequentes (mínimo de 2-3 dias) e o peso médio por animal ao longo do período seja registrado. A utilização de qualquer uma dessas técnicas para coletar o peso corporal dos animais, dependerá da disponibilidade de recursos para cada experimento e localização, no entanto, o uso de boas práticas experimentais e a garantia de que os animais sejam constantemente tratados em condições semelhantes será importante para garantir a precisão das medições.

Exemplo de cálculo do ganho de peso médio diário:

Peso no dia 0 do experimento: 390 kg
Peso no dia 50 do experimento: 462 kg
Peso no dia 100 do experimento: 485 kg
Ganho do dia 0 ao dia 50: (462-390) / 50 = 1,44 kg/dia
Ganho do dia 50 ao dia 100: (485-462) / 50 = 0,46 kg/dia
Ganho do dia 0 ao dia 100: (485-390) / 100 = 0,95 kg/dia

A partir do exemplo apresentado, há diversas maneiras de expressar o ganho diário médio. Como observado, o desempenho foi maior do dia 0 ao 50, em comparação com os outros dois períodos. Assim, é importante lembrar que o ganho diário médio nem sempre é constante ao longo do tempo e das estações em experimentos de pastejo. Por exemplo, na Tabela 2, pode-se observar que o ganho diário médio de novilhas Nelore em pastagens de *Urochloa brizantha* cv. Marandu diferiu em três estações em Minas Gerais, indicando que os ganhos de peso vivo dos

animais podem variar dentro da estação à medida que as condições ambientais e a composição nutricional da forragem mudam (Homem et al., 2021).

Tabela 2. Ganho de peso, taxa de lotação e ganho de peso por área de novilhas Nelore pastejando *Urochloa brizantha* cv. Marandu com aplicação ou não de N, ou misturadas com Amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* Krap & W.C. Greg) durante as estações do período experimental

	Tipo de pasto			Estação			SEM
Variável	Gramínea + N	Gramínea	Gramínea + Leguminosa	Primavera	Verão	Outono	
Ganho de peso, kg/d	0.64ª	0.54^{b}	0.61ª	0.76ª	0.58b	0.45c	0.05
Taxa de lotação, UA[1]/ha	3.8ª	2.3^{c}	2.8^{b}	2.6^{c}	3.4^{a}	2.9^{b}	0.3
GPA[2], kg/ha/ estação	219ª	106^{c}	143^{b}	169ª	173ª	125^{b}	22

[1]UA, unidade animal (500 kg); [2]GPA, ganho de peso por área.

Fonte: Homem et al. (2021).

Dias de pastejo

Dias de pastejo, no caso da maioria dos experimentos a pasto, é uma variável frequentemente útil na estimativa do ganho por área. Esta variável é expressa como dias de animal por hectare. No caso de se selecionar novilhos, um dia-novilho por hectare indica que um animal foi suportado por um dia em um hectare de pastagem. Onde, cinco novilhos em um hectare de pastagem contribuem com 5 dias-novilho para cada dia de pastejo, então após 20 dias, há um total de 100 dias-novilho. Essa variável é preferencialmente expressa em unidades animais, a fim de fornecer estimativas mais úteis da quantidade de animais.

Ganho de peso vivo por área

Fatores animais e aqueles que determinam a quantidade e qualidade da forragem afetam diretamente a produção animal por animal e por área. Em experimentos de pastagem, estimar o ganho de peso animal por área é frequentemente descrito como a variável de maior significado econômico. Essa variável é usada para caracterizar o potencial de um sistema de produção ou estratégia

de manejo (Sollenberger & Cherney, 1995). A importância do cálculo do ganho por área é que este fornece uma estimativa que combina, tanto o desempenho individual dos animais, quanto a taxa de lotação. Na Tabela 2 pode-se observar um exemplo dessa estimativa em experimentos de pastagem em Minas Gerais (Homem et al., 2021). Essa variável pode ser calculada com base em medidas de quantidade (por exemplo, animais/hectare) e qualidade da forragem (por exemplo, produto animal/animal), conforme a seguinte equação:

Produto animal/hectare = produto animal/animal × animal/hectare
Ou,
Produto animal/hectare = ganho de peso por dia × dias de animal/hectare.

Determinação do consumo de forragem por animais em pastejo

O desempenho dos animais ruminantes em pastagens, dentro dos limites de sua capacidade genética, é amplamente determinado pelo consumo de nutrientes digestíveis (Lippke, 2002). A ingestão limitada de forragem é considerada uma das principais restrições para a produção de ruminantes (Forbes, 1995). Portanto, medir o consumo de forragem é importante para garantir que a produtividade animal não seja penalizada devido à baixa massa ou valor nutricional da forragem. Nesta seção, serão discutidas as metodologias para medir o consumo de forragem, especialmente em animais a pasto.

Determinação do consumo em animais confinados

As medições do consumo de forragem podem ser realizadas em confinamento e em pastagens. Em confinamento, o consumo de matéria seca da forragem (CMS) será a diferença entre a quantidade oferecida e recusada (convertida para uma base de MS). Este método é mais fácil de obter replicações e é ideal ao medir o consumo de forragens conservadas, como silagens e feno. Algumas tecnologias, como *Calan gates* ou cochos *Growsafe*, podem ser usadas para calcular automaticamente o consumo de forragem, bem como a pesagem manual de alimento e sobras após um período determinado (24-h pós alimentação). No entanto, a medição do consumo de forragem em confinamento pode ser irrealista para avaliações de pastagens, devido aos efeitos das plantas, animais e do ambiente.

Determinação do consumo em animais em pastejo

Até os dias atuais, nenhum método foi criado pelo qual o consumo de animais em pastejo possa ser quantificado com precisão. Esse dilema de não conhecer o consumo, mas precisar dele para tomar decisões críticas de manejo e ambientais, torna necessário o uso de estimativas de consumo como base para a formulação de planos de nutrição suplementar e desenvolvimento de esquemas de manejo em pastejo (Smith et al., 2021). Métodos indiretos para estimar o consumo em pastejo incluem a diferença na massa de forragem antes e depois do pastejo e variações no peso corporal (pesar os animais durante a alimentação, ou antes e depois de comer). Esses dois métodos têm limitações óbvias, incluindo a natureza de curto prazo das medições e a necessidade de considerar as mudanças no peso devido a perdas de fezes e urina. Por outro lado, a diferença na massa de forragem observada em um piquete devido ao pastejo dividida pelo número de animais e dias de pastejo pode ser usada como uma estimativa do consumo de forragem. No entanto, estimar corretamente a massa de forragem dentro dos piquetes pode ser trabalhoso e difícil de ser realizado. Uma outra desvantagem dessa metodologia é que as plantas estão crescendo continuamente, enquanto os animais estão pastejando, e esse crescimento das plantas as vezes não é levado em consideração. O crescimento da planta pode ser estimado usando gaiolas nas pastagens. Entretanto, é necessário incluir o crescimento do pasto no cálculo, a fim de evitar a subestimação do consumo quando o período de pastejo for superior a 72 horas (Macoon et al., 2003). O consumo a pasto pode ser estimado conforme a seguinte equação:

$$\text{CMS}\left(\frac{\text{kg}}{\text{d}}\right) = \left[\frac{\left[\text{MS dentro da gaiola}\left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}}\right) - \text{MS fora da gaiola}\left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}}\right)\right] \times \text{area (ha)}}{\text{Dias de pastejo}}\right]$$

Onde, CMS é consumo de matéria seca.

Uma desvantagem desse método é que apenas fornece uma estimativa e consumo para o grupo de animais presentes na mesma pastagem. O consumo individual não pode ser estimado se um grupo de animais pastejou a mesma área simultaneamente.

Outro método de estimar o consumo em pastejo envolve observações do comportamento ingestivo, que é calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{CMS}\left(\frac{\text{kg}}{\text{d}}\right) = \left[\text{taxa de bocado}\left(\frac{\text{bocados}}{\text{min}}\right) \times \text{massa do bocado}\left(\frac{\text{g}}{\text{bocado}}\right) \times \text{tempo de pastejo}\left(\frac{\text{min}}{\text{d}}\right)\right]/1000\text{g}$$

Apesar de ser possível registrar o tempo de pastejo de forma contínua ao longo de vários dias, as medições da massa e da taxa de bocado são realizadas apenas por alguns minutos diários devido à dificuldade de obtenção desta variável. A massa e taxa de bocado são amplamente afetadas pelas características da pastagem e estruturas do dossel, que podem variar através da pastagem, mudando continuamente devido ao crescimento, pisoteio, serrapilheira e senescência (Sollenberger & Burns, 2001). Outra desvantagem é que os observadores podem interferir com o comportamento animal, observações podem ser subjetivas, e nesse caso, assume-se que a taxa de bocado seja constante. Portanto, o método de comportamento alimentar pode não fornecer uma estimativa precisa do consumo ao longo de um dia inteiro ou períodos mais longos, além de ser oneroso se muitos animais tiverem que ser avaliados.

Usar a digestibilidade e estimativas de produção fecal e a observação do comportamento de pastejo também são outros métodos utilizados (Sollenberger & Cherney, 1995; Sollenberger & Wallau, 2020). Frequentemente, o uso de marcadores para a estimativa de produção fecal e digestibilidade da dieta são os métodos mais utilizados para a estimativa de consumo a pasto. Entretanto, não é uma solução técnica perfeita. No entanto, com a ausência de métodos mais aprimorados, os marcadores permanecem como uma solução na previsão do consumo e fluxo de nutrientes entre sistemas de pastagem e animais (Smith et al., 2005). Essas medições indiretas envolvem a estimativa da produção fecal e da digestibilidade da dieta.

Determinação do consumo a partir da coleta total de fezes

A possibilidade ou necessidade de coleta total de fezes de animais em pastejo, ou seja, medição em vez de estimativa, deve ser considerada no início, mas o procedimento tem desvantagens. A exigência de mão de obra é alta, não apenas para a coleta real e esvaziamento dos sacos coletores, quando utilizados, mas também para o treinamento necessário e a manutenção de um grupo de animais dóceis o suficiente para o procedimento (Lippke, 2002). As fezes podem escapar do saco de coleta e, também, podem causar possíveis efeitos prejudiciais da carga sobre os animais e seus hábitos de pastejo (Van Soest, 1994). Amostras representativas do pasto devem ser coletadas e analisadas para digestibilidade *in vitro*. Se a amostragem total de fezes for conduzida, o consumo de forragem pode ser calculado como:

$$\text{CMS}\ \left(\frac{\text{kg}}{\text{d}}\right) = \left[\text{produção de MS fecal}\ /\left(1 - \left(\frac{DMS}{100}\right)\right)\right]$$

Os benefícios da coleta total incluem obtenção do consumo individual dos animais uma vez que se sabe a individual produção total fecal e normalmente apenas é necessário saber a MS das fezes.

Se não for possível obter a quantidade total de fezes, pode-se usar o método de marcadores. Embora a técnica de marcadores não seja uma solução perfeita para estimar o consumo de forragem em animais em pastejo, ainda é a melhor (Smith et al., 2021) e mais simples técnica que foi desenvolvida para estimar a produção fecal (Van Soast, 1994). Com o uso de marcadores, elimina-se a necessidade da utilização de sacos de fezes e coleta total de fezes. Os marcadores fecais devem ser inertes, sem efeitos tóxicos, fisiológicos ou psicológicos, não absorvidos nem metabolizados no trato gastrointestinal e, portanto, completamente recuperados nas fezes; que possam ser usadas em baixas quantidades (g vs. kg); misturam-se intimamente com os alimentos usuais e permanecem uniformemente distribuídos na digesta; não têm influência na digestão, absorção, motilidade normal do trato digestivo ou excreção; não têm influência na microflora do trato digestivo; e que tenham qualidades que permitam medições quantitativas precisas (Kotb & Luckey, 1972).

Os marcadores podem ser divididos em internos e externos. Os marcadores internos são componentes naturalmente presentes em alimentos que atendem aos critérios básicos para marcadores, sendo que a maioria desses componentes está associada à parede celular e seus constituintes (Smith et al., 2021). Entre os marcadores internos mais utilizados, podemos listar lignina, cinza insolúvel em ácido e sílica, fibra em detergente neutro ou fibra em detergente ácido indigestíveis, cromógenos, ceras, nitrogênio fecal e ácido diaminopimélico. No entanto, os marcadores internos podem não ser ideais em cenários de pastejo, porque é difícil obter uma amostra representativa do que exatamente os animais estão pastejando. Os marcadores externos, por outro lado, são compostos que são adicionados à dieta. A escolha do marcador depende da capacidade de analisar suas concentrações nas fezes e geralmente é fornecida aos animais 1 ou 2 vezes ao dia por até 14 dias, além dos custos envolvidos. Entre os marcadores externos mais estudados, podemos listar o óxido crômico, o dióxido de titânio e o ácido etilenodiaminotetracético de cromo.

Os marcadores externos podem ser administrados oralmente por 5 dias consecutivos e, após o alcance de um estado estável (plateau na concentração) em aproximadamente 10 dias, a concentração de marcador nas fezes pode ser medida

(últimos 5 dias). Ainda existem críticas a essa técnica, que incluem o trabalho de fornecer os marcadores externos duas vezes ao dia, por vários dias; a necessidade de interação excessiva entre animais e pessoas, o que pode afetar o consumo; e o trabalho intensivo e o alto custo da coleta de amostras de fezes (Velásquez et al., 2018). Além disso, a obtenção de amostras que representem verdadeiramente a dieta dos animais dosados pode ser o principal fator limitante na precisão da técnica de marcadores, principalmente em pastagens consorciadas. As amostras de forragem coletadas durante o período de coleta de fezes serão usadas para calcular a digestibilidade. Isso será posteriormente utilizado para estimar o consumo de forragem.

O uso da técnica de duplo marcador, combinando marcadores externos e internos, permite a estimativa, tanto da produção diária de fezes, quanto da digestibilidade da dieta, respectivamente. Consequentemente, a estimativa do CMS. O uso da técnica de duplo marcador é baseado no princípio de que a produção fecal está inversamente relacionada com a digestibilidade da dieta e diretamente proporcional à quantidade de matéria seca consumida. A produção de fezes é estimada utilizando a quantidade diariamente administrada (marcador externo) e a concentração do marcador externo nas fezes, enquanto a matéria seca digestível pode ser estimada utilizando-se as concentrações do marcador interno na dieta e fezes, conforme a seguinte equação:

$$1)\ \text{Produção fecal}\ \left(\frac{\text{kg MS}}{\text{d}}\right) = \frac{\text{Marcador dosado}\ (\frac{\text{g}}{\text{d}})}{\text{Marcador nas fezes}(\frac{\text{g}}{\text{kg}})}$$

$$2)\ \text{DMS}\ (\%) = \left[1 - \frac{\text{Marcador na forragem}\ \left(\frac{\text{g}}{\text{kg}}\right)}{\text{Marcador nas fezes}\left(\frac{\text{g}}{\text{kg}}\right)}\right] \text{x}\ 100$$

$$3)\ \text{CSM}\ \left(\frac{\text{kg}}{\text{d}}\right) = \frac{\text{Produção fecal}}{(1 - DMS)^{-1}}$$

Considerações finais

Há uma ampla variedade de métodos disponíveis para a avaliação de pastagens e plantas forrageiras. É crucial, selecionar aqueles que melhor se adaptam à pesquisa que será conduzida, visando reduzir erros aleatórios e garantir a viabilidade da execução. É fundamental estabelecer, os métodos antes do início do experimento, uma vez que alterações metodológicas ao longo do estudo podem ampliar os erros aleatórios, potencialmente levando os pesquisadores a fazerem inferências equivocadas.

Referências

Allen, V., Batello, C., Berretta, E., Hodgson, J., Kothmann, M., Li, X., McIvor, J., Milne, J., Morris, C., Peeters, A., & Sanderson, M. (2011). An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and Forage Science*, 66:2-28. https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2010.00780.x

Burns, J. C., Lippke, H., & Fisher, D.S. 1989. The Relationship of Herbage Mass and Characteristics to Animal Responses in Grazing Experiments. In Grazing Research: Design, Methodology, and Analysis, CSSA Spec. Publ. 16., edited by G. C. Marten. 7–19. Madison, WI: CSSA and ASA. doi:10.2135/cssaspecpub16.c2

Coates, D., & Penning, P. (2000). Measuring animal performance: CABI International.

Forbes, J. M. (1995). Voluntary feed intake. In: Voluntary food intake and diet selection in farm animals. Ed. CAB International.

Hodgson, J. Grazing management: science into practice. New Zealand: Longman Scientific and Technical, Longman Group, 1990. 203p.

Homem, B. G. C., Lima, I. B. G., Spasiani, P. P., Borges, L. P. C., Boddey, R.M., Dubeux Jr., J. C. B., Bernardes, T.F., & Casagrande, D. R. (2021). Palisadegrass pastures with or without nitrogen or mixed with forage peanut grazed to a similar target canopy height. 2. Effects on animal performance, forage intake and digestion, and nitrogen metabolism. Grass and Forage Science, 76(3), 413-426. doi:https://doi.org/10.1111/gfs.12533

Jones, R. J., & Lascano, C. E. 1992. Oesophageal fistulated cattle can give unreliable estimates of the proportion of legume in diets of resident animals grazing tropical pastures. *Grass and Forage Science*. 47:128-32.

Kotb, A. R., & Luckey, T. D. (1972). Markers in nutrition. Nutr. Abstr. Rev. 42:813–845.

Lippke, H. (2002). Estimation of forage intake by ruminants on pasture. Crop Science, 42:869-872.

Macoon, B., Sollenberger, L. E., Moore, J. E., Staples, C. R., Fike, J. H., Portier, K. M. (2003). Comparison of three techniques for estimating the forage intake of lactating dairy cows on pasture. Journal of Animal Science, 81:2357–2366. doi:10.2527/2003.8192357x

Mannetje, L., & Haydock, K. P. (1963). The dry-weight-rank method for the botanical analysis of pasture. *Grass and Forage Science*, 18(4):268-275. doi:https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1963.tb00362.x

McCartor, M. M., & Rouquette, F. M., Jr. (1977). Grazing Pressures and Animal Performance from Pearl Millet1. *Agronomy Journal*, 69: 983-987. https://doi.org/10.2134/agronj1977.00021962006900060020x

Meijs, J. A. C., Walters, R. J. K., & Kenn, A. (1982). Sward methods. In Herbage Intake Handbook. Hurley, England: British Grassland Society, 11-36.

National Academies of Sciences, E., & Medicine. (2021). Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Eighth Revised Edition. Washington, DC: The National Academies Press.

Ortega-S J. A., Sollenberger, L. E., Quesenberry, K. H., Cornell, J. A., & Jones Jr, C. S. 1992. Productivity and persistence of rhizoma peanut pastures under different grazing managements. *Agronomy Journal*, 84:799–804.

Smith, W. B., Galyean M. L., Kallenbach R. L., Greenwood P. L., Scholljegerdes E. J. (2021). Understanding intake on pastures: how, why, and a way forward. Journal of Animal Science, 99: skab062. doi: 10.1093/jas/skab062.

Sollenberger, L. E. & Burns, J. C. (2001). Canopy Characteristics, Ingestive Behaviour and Herbage Intake in Cultivated Tropical Grasslands. International Grassland Congress, 19:321–327.

Sollenberger, L. E., & Cherney, D. J. R. (1995). Evaluating forage production and quality. In R. F. Barnes, D. A. Miller, & C. J. Nelson (Eds.), Forages: The science of grassland agriculture (Vol. 2, pp. 97-110). Ames, IA: Iowate State Univ. Press.

Sollenberger, L. E., Moore, J. E., Allen, V. G., & Pedreira, C. G. S. (2005), Reporting Forage Allowance in Grazing Experiments. Crop Science, 45: 896-900. https://doi.org/10.2135/cropsci2004.0216

Sollenberger, L. E. & Wallau, M. O. (2020). Plant-Herbivore Interactions. Forages: The science of grassland agriculture. In: Moore, K. J., M. Collins, C. J. Nelson and D. D. Redfearn, editors, West Sussex: John Wiley & Sons Ltd. p. 201–214.

Van Soest, P. J. (1994). Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed. Comstock Publishing Associates, Cornell University Press, Ithaca, NY.

Velásquez, A.V., da Silva G. G., Sousa D. O., Oliveira C. A., Martins C. M. M.R., Dos Santos P. P. M., Balieiro J. C. C., Rennó F. P., Fukushima R.S. (2018). Evaluating internal and external markers versus fecal sampling procedure interactions when estimating intake in dairy cows consuming a corn silage-based diet. Journal of Dairy Science, 101: 5890-5901. doi: 10.3168/jds.2017-13283

Winchester, C. F., & Morris, M. J. (1956). Water Intake Rates of Cattle. Journal of Animal Science, 15(3), 722-740. doi:10.2527/jas1956.153722x

15

Sistemas Integrados em Pastagens Tropicais

Valdson José da Silva[1]
Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira[2]
Mércia Virginia Ferreira dos Santos[2]

Introdução

Nos últimos anos vem crescendo a pressão da sociedade pela conservação dos recursos naturais, o que tem forçado vários setores econômicos a buscarem sistemas produtivos mais sustentáveis. No caso do agronegócio (agricultura, pecuária e floresta), foram delineadas estratégias para redução da emissão de carbono, criando-se, inclusive políticas para fomentar estratégias mais sustentáveis de produção pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), notadamente o Plano ABC (Agricultura de Baixo Carbono), oficialmente denominado Plano Setorial para Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para Consolidação de Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura. Este plano foi elaborado visando estabelecer uma política pública que ajudasse o setor agropecuário a incorporar novas tecnologias, mais modernas e sustentáveis, para os sistemas de produção, contribuindo para minimizar as emissões de gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera e, com isso, reduzir o impacto da atividade agropecuária no aquecimento global.

[1] Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, Pernambuco.
[2] Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, Pernambuco; Bolsista do CNPq.

Uma das alternativas para melhorar a sustentabilidade da atividade agropecuária, foi o incentivo a adoção de sistemas integrados de produção agropecuária. Os sistemas integrados podem ser simples ou muito complexos, dependendo dos componentes envolvidos e a forma como como estão arranjados, podendo envolver os componentes agrícola, pecuário e florestal, nas suas diversas combinações.

Quando bem delineados e conduzidos, podem trazer diversos benefícios, incluindo o controle de erosão e melhoramento da fertilidade do solo, qualidade e quantidade de água, aumento da biodiversidade, redução da emissão de gases de efeito estufa, conforto térmico para animais, melhores índices produtivos, melhor valor nutricional do pasto, diversificação da produção (agrícola, animal e florestal) e, consequentemente, incremento e melhoria de distribuição temporal da renda.

Nesse capítulo, objetiva-se apresentar os principais aspectos quanto a sustentabilidade de sistemas integrados envolvendo pastagens tropicais.

Tipos de sistemas integrados

No caso em que se objetiva principalmente a maximização da produção animal, conforme os seus componentes de formação (animais, planta forrageira, cultura agrícola e espécie florestal), têm-se os sistemas que envolvem lavoura-pecuária (agropastoris), pecuária-silvicultura (silvipastoris) e lavoura-pecuária-silvicultura (agrossilvipastoris).

Os sistemas agropastoris são aqueles formados por cultura agrícola, planta forrageira e animais. No Brasil, os sistemas que envolvem o componente agrícola e pecuário são também chamados de sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP).

Os sistemas que envolvem o componente florestal, por sua vez, podem ser agrupados em sistemas agroflorestais (SAFs), que segundo Nair (1989), é o uso da terra em que as árvores interagem com os cultivos agrícolas e/ou animais, simultânea ou sequencialmente, de modo a aumentar a produtividade total de plantas e animais de forma sustentável por unidade de área, podendo ter diversas denominações. Os silvipastoris são compostos pela planta forrageira, espécie florestal e animais. Já os agrossilvipastoris são formados por consorciação de cultura agrícola, planta forrageira, espécie florestal e animais (Figura 1). Vale ressaltar que o componente florestal deve ser perene. No Brasil, o termo integração pecuária-floresta (IPF) tem sido utilizado para caracterizar o sistema silvipastoril, e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), o agrossilvipastoril.

Figura 1. Diferentes sistemas agroflorestais e seus componentes.

Existem críticas em relação ao emprego dos termos ILP, IPF e ILPF para designar os sistemas de integração agropecuária, especialmente por passar uma ideia de compartimentalização dos sistemas e não deixarem claro a necessidade de sinergismo entre os resultados produtivos, sociais e ambientais (Carvalho et al., 2014).

Planejamento de sistemas integrados

Os sistemas integrados são bem mais complexos que os isolados de pastagens, cultivos agrícolas ou de floresta, pois há necessidade de manutenção do equilíbrio entre seus componentes (cultivo agrícola, árvores/arbustos, forrageiras e animais) e de considerar suas possíveis interações. Neste sentido, requer um planejamento rigoroso do funcionamento do sistema para o sucesso do processo de produção e sustentabilidade da atividade (Bernardino e Garcia, 2009).

A utilização de um sistema integrado de produção agropecuária, seja envolvendo os componentes lavoura-pecuária, lavoura-pecuária, ou lavoura-pecuária-silvicultura, deve ultrapassar as barreiras logísticas e sociais da combinação de atividades agrícolas especializadas (Alves et al., 2019). Assim, no seu planejamento, os produtores devem levar em conta as condições do solo, climáticas, agrícolas, forrageiras, zootécnicas e florestais (Pedreira et al., 2017b), bem como, análise de marketing, da logística e da disponibilidade de mão de obra treinada antes de decidir avançar para sistemas integrados e definir o arranjo (Balbino et al., 2012) para garantir retornos econômicos e ambientais.

Vale ressaltar que se deve definir qual o produto é prioritário, pois o planejamento de implantação do sistema (Apolinário et al., 2015; Carvalho et al., 2022) dependerá dele quanto a sua viabilidade técnica, ecológica e socioeconômica. Isto porque ele deve ser estruturado conforme seus componentes arranjados espacial e temporalmente e, consequentemente, haverá inúmeras interações possíveis entre seus elementos e os fatores climáticos e edáficos, que diferem de local para local e de manejo do sistema quanto ao produto principal que se objetiva alcançar.

Tipos de Arranjos em Sistemas Integrados

Em sistemas integrados, seja agropastoril, silvipastoril ou agrossilvipastoris, é necessário, conforme seus componentes, a definição dos arranjos no espaço e no tempo. Vale ressaltar que quando a produção animal é a prioridade, nos arranjos há questões referentes ao manejo dos animais (método de lotação, tamanho do piquete etc.), o que implica em decisões importantes, em relação as possíveis interações dos componentes do sistema.

Nos sistemas agropastoris, a integração pode ocorrer por meio da i) sucessão, onde uma atividade sucede a outra dentro do sistema de produção (e.g. produção de milho, seguido do uso da área para pastagem, como por exemplo ocorre com “boi safrinha”) ii) rotação, onde pode ocorrer a rotação de cultura agrícola dentro de áreas

de pastagens de forma a contribuir para reformar a área da pastagem da propriedade (aproximadamente 20 a 30% da área da propriedade é dedicada a atividade agrícola) ou a rotação de áreas de pastagens na propriedade (neste caso aproximadamente 25 a 30% da área da propriedade é dedicada as pastagens).

Nos sistemas em que o componente arbóreo é envolvido, é fundamental o planejamento de como este componente será arranjado no espaço (Nair et al., 1985), pois pode influenciar a forma de condução do processo e o impacto deste componente nos demais que integram o sistema.

Arranjo aleatório

Sistema em que geralmente não há cultivo de lavouras, e o componente arbóreo está distribuído aleatoriamente dentro da área. De maneira geral, há dificuldade de mecanização pois não há um ordenamento do posicionamento das árvores dentro do sistema.

Arranjo em bosquetes

Sistema em que o componente arbóreo é concentrado em áreas da propriedade, enquanto a maior parte da área é dedicada para outra atividade, seja agrícola ou pecuária. Neste caso, a concentração das árvores em áreas menores da propriedade acaba limitando o potencial de formação de microclima em função do menor espaço e distribuição do componente arbóreo dentro do sistema.

Arranjo em renques

Sistema em que o plantio das árvores acontece em linhas, podendo ser em linhas simples ou em múltiplas linhas. O número de linhas e renques deve ser determinando considerando a importância do componente florestal no sistema. A distância e posicionamento das árvores pode trazer impacto na atividade a ser desenvolvida entre os renques. Por outro lado, o ordenamento das árvores em linhas permite a mecanização das áreas entre os renques de arvores. De maneira geral, em sistemas em que a produção animal é considerando importante, recomenda-se distância entre renques de arvores superior a 30 m devido ao impacto do componente arbóreo na produção de forragem.

Arranjo temporal

Refere-se ao arranjo dos componentes do sistema considerando o momento em que eles são combinados, podendo ser sequencial ou simultâneo (Montagnini et al., 1992).

Sistema sequencial

Nesse caso, os componentes são inseridos seguindo uma sequência. Exemplo: estabelecimento de pasto, dos cultivos agrícolas e florestais, e introdução dos animais etc., conforme exemplo apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Exemplo de sistema agrossilvipastoril com arranjo sequencial

Componentes			Linha do tempo
Pecuária	Agrícola	Silvicultura	
Soja como 1ª colheita (*Glycine. max* L.), seguida pelo Milho (*Zea mays* L.) como 2ª colheita semeada com Capim-marandu (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) (dois anos) e posterior utilização como pastagem (dois anos).	Capim-marandu pastagens estabelecidas em mistura com milho. É o 2º ano de pecuária.	Fileira única de Eucalipto (*Eucalyptuis. urograndis*, clone H13), espaçada 3 × 37 m (árvores e fileira respectivamente), totalizando 90 árvores ha^{-1}	Safras de 2013 a 2015 com fileira tripla de Eucalipto e pecuária de 2015 a 2017 (fileira única).

Fonte: Adaptado de Carvalho et al. (2019).

Sistema simultâneo

Quando há uma integração simultânea e contínua dos componentes do sistema (árvores/arbustos, forrageira, cultivo agrícola, animais).

Vale ressaltar que o tempo de utilização da lavoura, da pecuária ou da floresta vai depender do sistema utilizado, podendo-se utilizar a pecuária por períodos de um mês a cinco anos e retornar novamente com a lavoura, que por sua vez pode ser utilizada por apenas cinco meses, chegando até cinco anos. O componente florestal pode ser utilizado para um ou mais cortes, dependendo da espécie utilizada.

Benefícios e desvantagens dos sistemas integrados de produção

De modo geral há vários benefícios ao se implantar um sistema integrado de produção, mas há também desvantagens (Balbino et al., 2012), que dependerão das interações de seus componentes e as práticas adotadas em seu manejo conforme o objetivo principal a ser alcançado. No Quadro 1 estão listadas possíveis vantagens e desvantagens dos sistemas integrados.

Quadro 1. Algumas possíveis vantagens e desvantagens de sistemas integrados de produção agropecuária

Vantagens	Desvantagens
Fertilidade do solo e benefícios na ciclagem de nutrientes	Sistema de trabalho intensivo
Controle de salinidade do solo	Longo tempo de espera
Prevenção do escoamento e melhor gestão da água	Oportunidades de mercado limitadas
Estabilização de solos e microclima	Falta de apoio jurídico
Baixa entrada de agroquímicos	Intensivo em conhecimento e tecnologia
Melhoria da vida selvagem e do habitat dos polinizadores	Competição por recursos
Remediação de solos poluídos	Espécies invasoras e hospedeiros alternativos para pragas e doenças
Diversificação de produtos e de renda	Alelopatia
Prevenção de danos às florestas	Difícil interpretação de interações entre componentes do sistema
Mitigação das mudanças climáticas	
Antecipação de renda	
Crescimento e qualidade da forragem	
Aumento na produção animal	
Conforto animal	
Recuperação e desenvolvimento de pastagens e de áreas degradadas	
Produção de alimentos	
Sequestro de carbono	

Fontes: ALVES (2012); BALBINO et al. (2012a); CARVALHO e XAVIER (2012); SLAVIKOVA (2019).

Papel dos componentes na sustentabilidade integrados de produção agropecuária com pastagens tropicais

Componente lenhoso

Árvores, arbustos e/ou palmeiras podem promover alterações microclimáticas, aporte de biomassa, conforto animal, melhoria em características edáficas, escoamento de água, crescimento e qualidade da forragem, aumento na produção animal, diversificação e equilíbrio temporal de receitas etc. (Carvalho e Xavier, 2012; Apolinário et al., 2015; Herrera et al., 2021; Carvalho et al., 2022). Logo, este componente pode contribuir para a sustentabilidade do sistema pecuária-silvicultura e lavoura-pecuária-silvicultura.

O componente lenhoso poderá desempenhar diferentes funções, como produção de madeira, frutos, sementes, resina, látex, óleos, podendo também influenciar na luminosidade, umidade e temperatura sob a copa; e promover o incremento da diversidade, da ciclagem de nutrientes, melhoria do microclima para criação animal, proteção do solo, entre outros serviços ambientais (Bernardi et al., 2014; Apolinário et al., 2015; Silva et al., 2021; Costa et al., 2021; Herrera et al., 2021).

Cultivo agrícola

O consórcio de culturas agrícolas, especialmente as de grãos como Milho, Sorgo e Soja, com forrageiras tem por objetivo antecipar o estabelecimento ou recuperação de áreas de pastagens e, possibilitando o uso da forrageira para produção de palha para o plantio direto ou para alimentação animal. Além disso, a cultura agrícola contribui antecipação de renda, o que é benéfico em um sistema de médio a longo prazo (Balbino et al., 2012a).

Planta forrageira

A planta forrageira assume um papel muito importante dentro dos sistemas integrados, e deve tolerar as condições climáticas do local, bem como possível microclima em função da presença de outros componentes da integração (e.g. cultivo agrícola e/ou silvicultural) (Moreno et al., 2022).

A capacidade de produção da planta forrageira em sistemas integrados pode ser afetada por características climáticas e de manejo, mas também pela dinâmica de competição estabelecidas entre os diferentes componentes do sistema, devido

ao seu possível efeito no ambiente luminoso em função, por exemplo, da presença, distância e posicionamento de fileiras de árvores (Silva et al., 2021) ou da cultura agrícola em situações em que o plantio da forrageira ocorre em conjunto com o plantio de outras culturas agrícolas.

Animais

A integração dos animais ao sistema de produção deve ocorrer de forma planejada, de forma a minimizar os impactos da presença dos animais em outras atividades agrícolas concomitantes ou integradas no tempo. Neste sentido, é fundamental considerar o planejamento do manejo do sistema, se a presença dos animais segue o arranjo temporal ou espacial.

Em sistemas em que há a presença de árvores, a presença dos animais pode permitir o aproveitamento da forragem que cresce no sub-bosque, especialmente quando a forrageira consegue suportar possíveis restrições de disponibilidade e qualidade da luz incidente. Além disso, é fundamental que se tenha um bom nível de planejamento em relação ao momento em que se vai inserir o componente animal dentro do sistema integrado e sua interação com outros componentes dentro do sistema (e.g. árvores, cultivo agrícola), de forma a manter o sistema sustentável e produtivo.

Escolha dos componentes dos sistemas integrados

Na escolha dos componentes do sistema se deve observar a compatibilidade entre eles para que se possa atingir os seus objetivos. Assim, os arranjos espaciais e temporal devem ser projetados para otimizar os benefícios para árvores, forragens, cultivo agrícola e animal, ao mesmo tempo em que atende às necessidades de manejo (Fike et al., 2004). Por exemplo, a espécie florestal deve ser compatível com a forrageira, cultivo agrícola e animais, bem como, fornece vários produtos e serviços.

Nesse sentido, a escolha da melhor combinação entre os componentes do sistema dependerá de fatores como: localização e vocação da propriedade/região, capacidade de investimento, mercado consumidor dos produtos, nível de tecnificação do produtor e empregados, disponibilidade de maquinários/mão-de-obra, tipo de solo, entre outros (Alves, 2012).

Planta forrageira tropical

Na escolha de espécies forrageiras para formação de pastagens devem ser considerados preceitos básicos essenciais, tais como a adequação da espécie às condições ecológicas do local (solo, clima etc.) e ao nível tecnológico do sistema produtivo a ser adotado, possíveis interações com os demais componentes (cultivo agrícola, árvore/arbusto, animais), o potencial de produção e o valor nutritivo da forragem, entre outros (Macedo et al., 2018).

Dentre as forrageiras tropicais utilizadas em sistemas integrados destacam-se as do gênero *Urochloa*, com relatos da utilização de *U. brizantha* cv. Marandu, *U. brizantha* cv. Xaraés, *U. brizantha* cv. Piatã, *U. ruziziensis* cvs. Kennedy e BRS Integra, e *U. decumbens* 'Basilisk'. Outras forrageiras que também tem sido utilizadas são as do gênero *Megathyrsus* (syn. *Panicum*). Evidentemente, a utilização de uma espécie depende das condições ecológicas dos locais em que são realizados os plantios, e em muitos dos casos há a tentativa de incluir nos sistemas espécies forrageiras já utilizadas na região.

Gomes et al. (2020) avaliaram o efeito do microclima causado pelas árvores de Eucalipto {*Eucalyptus urograndis* (híbrido de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake} em linhas espaçadas em 30 metros e densidade de plantas de 138 árvores ha^{-1} no acúmulo de forragem do Capim-marandu, e reportaram variação no acúmulo de forragem em função da proximidade das árvores, contudo, mecanismos de tolerância ao sombreamento como aumento da área foliar específica e proporção de folhas permitiram que o pasto sombreado conseguisse manter níveis de produção semelhantes ao pasto convencional (pleno sol).

Espécies Florestais

No Brasil, se podem observar várias espécies florestais sendo utilizadas e avaliadas em sistemas envolvendo o componente arbóreo (Quadro 2), com destaque para o Eucalipto. Isto porque na escolha de uma espécie florestal, geralmente se busca aquelas de rápido crescimento aliado a produtos de valor comercial, objetivando-se renda complementar. Existem diversas espécies arbóreas nativas com potencial de uso em sistemas integrados de produção que ainda não foram devidamente estudadas (Diniz et al., 2021).

Quadro 2. Espécies florestais mais comumente utilizadas em sistemas integrados por conjunto de Estados do Brasil

Estados	Espécies	Fonte
AC, AM, AP, RO, RR	Eucalipto, Gliricída, Teca, Mogno, Mogno-africano, Mulateiro, Ipê, Bordão-de-velho, Cedro-doce, Taxi-branco, Paricá, Cumaru, Castanha-do-Brasil, Andiroba	Martinez et al. (2019)
MT, GO, DF	Eucalipto, Teca, Mogno, Seringueira	Wruck et al. (2019)
MA, TO, PI, Oeste da BA	Eucalipto, espécies nativas	Teixeira Neto et al. (2019)
CE, RN, PB, PE, AL, SE, BA (exceto Oeste)	Gliricídia, Sábia, Acácia, Coco, Eucalipto	Rangel et al. (2019)
MG, ES, RJ	Eucalipto	Santana et al. (2019)
MS, SP, PR	Eucalipto, Grevílea, Mogno-africano, Cedro-australiano, Espécies nativas	Zimmer et al. (2019)
RS, SC	Eucalipto, Pinus, Acácia, Grevílea, Espécies nativas	Fontaneli et al. (2019)

Fonte: Adaptada de Skorupa et al. (2019).

Espécies agrícolas

O Milho é uma das culturas mais utilizadas em sistemas integrados, devido aos seus múltiplos usos nas propriedades rurais (Pezzopane et al., 2019), além de contribuir para a segurança alimentar, especialmente nos países em desenvolvimento (Domiciano et al., 2021). Diversas outras culturas (e.g. Soja, Sorgo, Milheto, Girassol etc.) podem ser utilizadas de forma isolada ou dentro de esquemas de rotação de culturas em sistemas integrados de produção.

Animais

A definição do componente animal (Ovino, Caprino ou Bovino) dentro do sistema deve ser baseada na tradição e disponibilidade da região e/ou produtor, bem como seguir o manejo nutricional, sanitário e reprodutivo recomendados em função da espécie, raça, categoria animal, sistema de produção, taxa de lotação e modalidade de pastejo desejados (Alves, 2012).

Interações entre componentes do sistema utilizado

Diversas interações podem ocorrer entre os componentes do sistema integrado de produção, contribuindo para que ocorram ganhos, em comparação a sistemas convencionais de produção. Por exemplo, a adoção de sistemas integrados pode contribuir para melhoria da fertilidade e qualidade dos solos, bem como melhorias no aproveitamento e ciclagem de nutrientes, resultado em incrementos na produção e qualidade da forragem que pode ser consumida pelos animais. Além disso, a presença de arvores pode contribuir para maior nível de conforto térmico para os animais pela formação de microclima e também impactar positivamente características do pasto, elevando os níveis de produção animal. Além disso, a maior diversidade de espécies ou melhoria das condições da vegetação pode contribuir para atração de polinizadores ou inimigos naturais de pragas, que por sua vez podem elevar a produção de cultivos agrícolas presentes no sistema (Carvalho et al., 2023).

Os animais podem causar danos às árvores em diferentes intensidades, dependendo de fatores, tais como, espécie, raça e categoria animal, manejo da pastagem e do pastejo (Porfírio-da-Silva et al., 2012; Triches et al., 2020; Carvalho et al., 2022). Os danos compreendem o consumo e lesões em parte das árvores (folhas, casca do tronco etc., quebra de galhos e de troncos; pisoteio de mudas), o que pode comprometer a produção e qualidade da madeira no sistema (Brun et al., 2017; Triches et al., 2020) e menor expectativa de renda extra. Para minimizar os possíveis danos ao componente florestal, o momento da entrada dos animais será uma das decisões a ser considerada pelo produtor. De maneira geral, recomenda-se iniciar o pastejo apenas no momento que as árvores atinjam uma altura em que as folhas fiquem fora do alcance dos animais e, ou um diâmetro de fuste em que as árvores tenham maior resistência a quebra.

Carvalho et al. (2022) avaliaram o desenvolvimento inicial de árvores de Eucalipto e Sabiá em sistema silvipastoril, em comparação ao desenvolvimento das árvores em monocultivo. Foi observado que a introdução de bovinos no sistema levou a uma maior redução na sobrevivência de árvores de Eucalipto, em comparação com a sabiá e ao monocultivo dentro do sistema (Figura 2). Neste sentido, é fundamental considerar o estádio de desenvolvimento das árvores dentro do sistema no momento de introdução dos animais ou adotar medidas de proteção (e.g. cercas de proteção das árvores) para minimizar possíveis danos causados pelos animais.

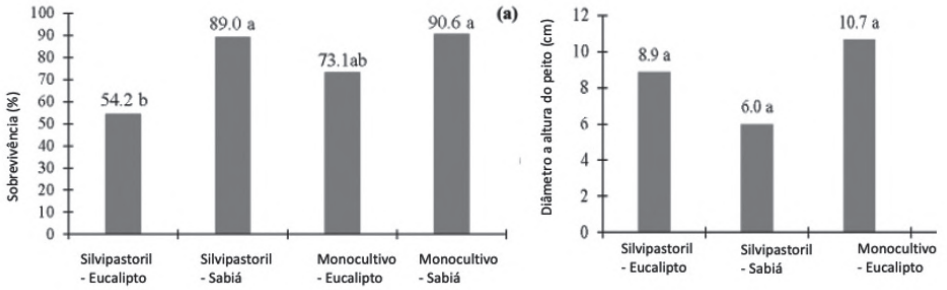

Figura 2. Sobrevivência (a) e diâmetro a altura do peito (b) de árvores de Sabiá e Eucalipto em monocultivo e em sistema silvipastoril com *Urochloa decumbens* cv. Basilisk.

Fonte: Adaptado de Carvalho et al. (2022).

Em análise de um sistema silvipastoril implantado na região subtropical do Brasil em que nos primeiros três anos a área foi utilizada para produção de grãos (Aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), Soja [*Glicine max* (L.) Merr.], Milho (*Zea mays* L.) e Sorgo forrageiro cv. AG 2501C [*Sorghum bicolor* (L.) Moench x *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf] com cultivo em aléias de *Schinus terebinthifolius* (Raddi), *Grevillea robusta* (A. Cunn. ex R.Br) e *Eucalyptus dunnii* (Maiden), com introdução de gado sob lotação contínua com taxa de lotação variável aos 41 meses do plantio das árvores. Porfírio-da-Silva et al. (2012) observaram que os danos causados à casca do tronco das árvores no sistema foram maiores do que os causados às copas e a *S. terebinthifolius* foi a mais danificadas pelos bovinos, não recomendando-se sua utilização.

De forma contrária, as árvores também podem afetar a produção animal de várias formas. Dentre elas, pode-se destacar o efeito do sombreamento sobre a produtividade da planta forrageira dentro do sistema, além de possíveis impactos no valor nutricional da forragem, em função do aumento da deposição de parede celular. Neste sentido, é importante que a planta forrageira a ser utilizada apresente tolerância a redução da disponibilidade de luz. Além disso, o componente arbóreo pode também afetar o crescimento da planta forrageira, em função de efeito alelopático.

Quando o componente arbóreo é aceito pela espécie animal, a possível redução da produção de forragem da gramínea pode, de certa forma, ser minimizada pelo ramoneio com a colheita de forragem com elevado valor nutricional. A aceitabilidade de componentes arbóreos depende do hábito alimentar da espécie animal, uma vez que algumas espécies (e.g. Ovinos e Bovinos) tendem a explorar

o estrato herbáceo da vegetação, e também de experiência prévia de consumo da espécie arbórea.

Costa et al. (2021) avaliaram a contribuição das leguminosas Sabiá e Gliricidia em sistema silvipastoril com *U. decumbens* a partir da análise isotópica da composição das fezes de bovinos, e observaram que, de maneira geral, a Gliricidia apresentou maior contribuição a dieta dos animais. Contudo, nos sistemas integrados avaliados, a gramínea forrageira forneceu entre 80 e 90% da dieta dos animais em pastejo.

Exemplos de alguns sistemas integrados

Nos últimos anos, vários estudos foram conduzidos comparando sistemas integrados de produção agropecuária. Domiciano et al. (2020) compararam o ganho de peso diário e ganho por área em pastagem convencional, e em sistema silvipastoril, agropastoril e agrossilvipastoril em Sinop-MT. Foi observado que o desempenho animal nos sistemas integrados foi semelhante (silvipastoril) ou superior (agropastoril e agrossilvipastoril) ao observado no sistema convencional (pastagem) (Tabela 2). Vale destacar ainda que o uso de sistemas integrados pode ainda contribuir para aumentar a produtividade da terra, por permitir a colheita de outros produtos da área, mesmo em caso em que a produção do sistema integrado é semelhante ao modelo convencional. O sistema silvipastoril era formado por bosques com três fileiras triplas, com espaçamento de 3 m entre árvores dentro da fileira e entre fileiras 3,5 m e entre cada fileira tripla 30 m, totalizando 270 árvores/ha. Os sistemas agropastoris e agrossilvipastoril possuíam três fileiras simples com espaçamento de 3,0 m entre as árvores na linha e 37 m nas entrelinhas, totalizando 90 árvores ha^{-1}. Nos sistemas agropastoril e agrossilvipastoril, a produção agrícola e pecuária eram rotacionados a cada dois anos, onde a Soja foi a primeira cultura cultivada seguida de Milho, em consórcio com Capim-Marandu sem pastejo. A área de pastagem foi manejada sob lotação contínua com taxa de lotação variável para manter a altura do pasto a 30±5 cm por Novilhos nelore com média de PC inicial de 335 kg e 16 meses de idade, suplementados diariamente com 1 g kg^{-1} PC de concentrado comercial. PC dos animais.

Tabela 2. Desempenho animal durante o período seco e chuvoso em sistemas integrados com *Eucalyptus urograndis* e Capim-marandu em Sinop-MT

Variáveis	Período do ano	Sistemas				EPM
		Pastagem	Silvipastoril	Agropastoril	Agrossilvipastoril	
Ganho médio diário (kg PC dia^{-1})	Seco	0,255 Bb	0,275 Bb	0,470 Ba	0,420 Ba	0,023
	Chuva	0,805 Ab	0,820 Ab	0,870 Ab	1,075 Aa	
Ganho/área (kg PC ha^{-1})	Seco	100 Bb	130 Bb	280 Ba	285 Ba	11
	Chuva	460 Ab	455 Ab	550 Aa	555 Aa	

PC-Peso corporal. Letras maiúsculas na coluna comparam os períodos do ano dentro de cada variável e minúsculas na linha comparam os sistemas de cultivo.

Fonte: Domiciano et al. (2020).

Em avaliação dos atributos agronômicos e da eficiência produtiva de forragem e grãos de Milho em um sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), com consorciação de Eucalipto, Milho e cultivares de *Urochloa*, durante três safras, Moreira et al. (2018) observaram que não houve efeito do Eucalipto na produção de forragem e grãos de Milho consorciado com as forrageiras na primeira safra (2011/2012). Nas safras seguintes, a eficiência produtiva de forragem e grãos apresentou redução de 25 e 48%, respectivamente, em 2012/2013 (Eucalipto com 12 meses); redução de 56% na produtividade de grãos em 2013/2014 (Eucalipto com 24 meses), em relação ao cultivo a pleno sol; assim, concluíram que no ano de implantação do sistema ILPF, a eficiência produtiva de forragem e grãos de Milho não é afetada pelo Eucalipto, mas é reduzida com o desenvolvimento das árvores nas safras subsequentes.

Em avaliação de características estruturais e acúmulo de forragem do Capim-piatã (*U. brizantha* cv. Piatã) em área de integração lavoura-pecuária-floresta sob regime de sombreamento moderado (338 árvores ha^{-1}) e intenso (714 árvores ha^{-1}) com Eucalyptus clone H13 (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*), Crestani et al. (2017) observaram que o sombreamento reduziu o acúmulo de forragem em 39% e 68% no sombreamento moderado e intenso, respectivamente, em comparação a pastagem em pleno sol (convencional). De acordo com os autores, pequenas variações na disponibilidade de luz afetam a estrutura e a produção de forragem, sendo necessário, inclusive, estabelecer critérios específicos de manejo para pastagens cultivadas em sistemas integrados envolvendo o sombreamento por árvores.

Pezzopane et al. (2019) avaliaram a produção do Milho e das pastagens, e o valor nutritivo da forragem colhida em sistema de integração lavoura-pecuária (ILP – milho e Capim-piatã (*U. brizantha* cv. Piatã) e lavoura-pecuária-floresta (ILPF – Milho, Capim-piatã e *Eucalyptus urograndis*), em relação as linhas de árvores. Os autores

concluíram com base na transmissão de radiação fotossinteticamente ativa (RPA) por árvores, que para a cultura do milho, a posição em relação às linhas arbóreas afetou as características morfológicas e parâmetros de produção. A produção não foi afetada pela posição em relação às linhas de árvores no primeiro ano, mas foi menor na posição mais próxima das árvores no segundo ano. Como média de todas as posições avaliadas no ILPF, a produção de MS de Milho no primeiro ano agrícola foi 43,3% inferior em relação ao segundo ano (5266 vs. 9817 kg de MS ha^{-1}). No ILP, a produção média de MS de Milho para os dois anos foi de 10082 kg de MS ha^{-1}. Considerando os resultados para as pastagens renovadas, a posição, em relação às linhas arbóreas, afetou a altura do pasto, a área foliar específica, a digestibilidade e o teor de proteína bruta da forragem.

Um estudo foi conduzido para comparar a produção de forragem e do desempenho animal em monocultura de gramíneas e diferentes sistemas integrados no bioma amazônico brasileiro (Carvalho et al., 2019). A comparação foi realizada entre o sistema convencional (P) com bovinos em pastagem de Capim-marandu em monocultura, (b) pastagens de Capim-marandu integradas com Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*; híbrido de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake) dispostos em bosques de três fileiras com bosques espaçados a 30 m de distância (integração pecuária-floresta; IPF), c) Capim-marandu após dois anos de colheita (cultura-gado; ILP) e (d) Capim-marandu após dois anos de lavouras com fileiras únicas de eucaliptos espaçados a 37 m de distância (lavoura-pecuária-silvicultura; ILPF) (Tabela 3). Foi observado maior acúmulo de forragem (AF) ocorreu em ILP e ILPF em comparação com P e IPF (21.310, 24.050, 19.500 e 18.890 kg de MS ha^{-1}, respectivamente); o ganho por hectare de P, IPF e ILP (média de 932 kg ha^{-1}) foi menor que o ILPF (1.190 kg ha^{-1}); o ganho médio diário foi semelhante entre os sistemas (0,69 kg dia^{-1}) (Tabela 4). Os resultados indicaram que os sistemas integrados podem suportar níveis semelhantes (IPF ou ILP) ou maiores (ILPF) de produção animal do que as monoculturas de Capim-marandu, aumentando a diversidade de produtos, proporcionando assim uma maior gama de sistemas viáveis para a produção pecuária no bioma amazônico brasileiro.

Em sistema integrado Arroz, Capim-Tanzânia (*Panicum maximum* cv. Tanzânia-1) e o *Eucalyptus urophylla* adubados com NPK, Andrade et al. (2001) observaram que a gramínea forrageira não respondeu ao P, nem ao K, embora os teores originais de P e K disponíveis no solo fossem baixos; a adubação nitrogenada dobrou a taxa de acúmulo de matéria seca do sub-bosque, mostrando que o crescimento da gramínea estava sendo restringido pela baixa disponibilidade de N no solo. De acordo com os autores, a elevada resposta à adubação nitrogenada indicou

que o sombreamento não era o único fator limitando a produtividade do sub-bosque, e, também que o Capim-tanzânia não foi afetado negativa e significativamente por substâncias alelopáticas produzidas pelo Eucalipto.

Tabela 3. Descrição dos componentes do sistema e cronograma

Sistema	Componentes			Linha do tempo
	Pecuária	Agrícola	Silvicultura	
Gado (P)	–	Capim-marandu (*U. brizantha* cv. Marandu).		Sob pastejo desde 2011
Pecuária-floresta (IPF)	–	Capim-marandu cultivada entre bosques.	Fileiras triplas (bosques) de Eucalipto (*E. urograndis*, clone H13), espaçadas 3 × 3,5 × 30 m (árvores, fileiras e bosques, respectivamente), totalizando 135 árvores/ha	Pastagem consorciada com árvores desde 2011. Desbaste do Eucalipto em setembro de 2016.
Lavoura-pecuária (ILP)	Soja (*G.max* L.) como primeira cultura, seguida pelo Milho (*Z. mays* L.) como segunda cultura semeada juntamente com Capim-palisadegrass para sistema de plantio direto (dois anos) e posterior uso como pastagem (dois anos).	Capim-marandu - pastagens estabelecidas em mistura com Milho. Segundo ano de pecuária.	–	Culturas de 2013 a 2015 e pecuária de 2015 a 2017.
Lavoura-pecuária-floresta (ILPF)	Soja como primeira colheita, seguida pelo milho como segunda colheita semeada com Capim-marandu (dois anos) e posterior utilização como pastagem (dois anos).	Capim-marandu - pastagens estabelecidas em mistura com Milho. Segundo ano de pecuária.	Fileira única de Eucalipto (*E. urograndis*, clone H13), espaçada 3 × 37 m (árvores e fileira respectivamente), totalizando 90 árvores/ha	Safras de 2013 a 2015 com fileira tripla de Eucalipto e pecuária de 2015 a 2017 (fileira única).

Fonte: Adaptado de Carvalho et al. (2019).

Pontes et al. (2018) avaliaram o efeito de duas doses de adubação nitrogenada (90 e 180 kg de N ha^{-1}, aplicadas na pastagem de inverno) de dois sistemas integrados de produção (sem e com árvores de *Eucalyptus dunnii* e *Grevillea robusta*), com gado de corte em pastagem anual durante o inverno anterior e cinco posições entre renques de árvores na qualidade e produção do Milho (*Zea mays* L.) para silagem e grãos. Os autores reportaram pequenas variações na qualidade da silagem, em relação a posição entre renques arbóreos. As diferenças entre doses de N no teor de proteína bruta e produção de grãos evidenciam o efeito residual da adubação de inverno.

Tabela 4. Desempenho agronômico e animal em diferentes sistemas integrados

Variáveis	Estação	Sistema[a]				Média	EPM
		P	IPF	ILP	ILPF		
		kg MS ha^{-1}					
Massa de forragem	Seco	4,220 bA	3,410 cA	5,350 aA	4,300 bA	---	135
	Chuvoso	4,110 aA	3,500 cA	3,990 abB	3,610 bcC	---	145
Acúmulo de forragem	Seco	7,030 bB	6,640 bB	8,330 bB	11,060 aB	---	675
	Chuvoso	12,470 aA	12,250 aA	12,980 aA	12,990 aA	---	
Acúmulo total de forragem	*Anual*	19,500 b	18,890 b	21,310 ab	24,050 a	---	920
		kg MS ha^{-1} cm^{-1}					
Densidade da massa de forragem	Seco	135	125	165	145	145 B	3,1
	Chuvoso	165	150	180	155	160 A	
	Anual	150 b	135 c	170 a	150 b	---	3,6
		kg MS kg PC^{-1}					
Oferta de forragem	Seco	4,80 bA	3,15 cA	5,85 aA	3,75 cA	---	0,23
	Chuvoso	2,80 aB	2,15 bB	2,70 aB	2,00 bB	---	0,12
		kg PC ha^{-1}					
Taxa máxima de lotação	Seco	1,210	2,140	1,660	1,600	1,650 B	135
	Chuvoso	2,310	2,740	2,580	3,200	2,710 A	
	Anual	1,760 b	2,440 a	2,120 ab	2,400 a	---	154
Taxa de lotação	Seco	895	1100	910	1160	1020 B	36
	Chuvoso	1485	1620	1490	1840	1610 A	
	Anual	1190 c	1360 b	1.200 c	1500 a	---	40
Taxa mínima de lotação	Seco	380 cB	575 abB	445 bcB	588 aB	---	52
	Chuvoso	945 abA	810 bA	885 abA	991 aA	---	
		kg PC dia^{-1}					
Ganho de peso médio diário	Seco	0,565	0,630	0,690	0,625	0,630 B	0,032
	Chuvoso	0,710	0,760	0,770	0,765	0,750 A	
		kg PC ha^{-1}					
Ganho ha^{-1}	Seco	255 bB	330 abB	335 abB	360 aB	---	30
	Chuvoso	670 bA	600 bA	615 bA	835 aA	---	36
Ganho total ha^{-1}	*Anual*	922 b	926 b	950 b	1194 a	---	45

Médias seguidas por letras minúsculas na linha e letras maiúsculas na coluna não diferem significativamente pelo teste *t* de Student ($p \geq 0,05$). [a] Sistema de pecuária (P), pecuária-floresta (IPF), lavoura-pecuária (ILP) e lavoura-pecuária-floresta (ILPF).

Fonte: Adaptado de Carvalho et al. (2019).

Além disso, a associação com árvores contribuiu para a produção de silagem de melhor qualidade (menor teor de fibra em detergente ácido e maior teor de PB), embora tenha contribuído para uma redução em 52% a produtividade do milho colhido tanto para silagem como para grãos.

A comparação da taxa de lotação e desempenho animal em sistemas silvipastoris contendo leguminosas arbóreas (Gliricidia e Sabiá) e *U. decumbens* após três anos de estabelecimento do componente arbóreo em linhas espaçadas em 15m com o sistema convencional (pasto de *U. decumbens*) (Figura 3) durante 24 períodos de avaliação de 28 dias, resultaram em variações na taxa de lotação animal ao longo do período de avaliação, porém não houve diferença no ganho de peso médio diário e ganho total por área, em comparação com o monocultivo da gramínea (Costa et al., 2016).

Silva et al. (2021), trabalhando na mesma área experimental entre o 7º e 10º ano após o estabelecimento das árvores de Sabiá e Gliricidia, reportaram que o sistema silvipastoril com Gliricidia + *U. decumbens* resultou em um aumento na produção animal, em comparação ao monocultivo de gramínea. Segundo os autores, o ganho de peso médio diário foi de 0,56, 0,77 e 0,23 kg animal d^{-1} para a pastagem de *U. decumbens*, Gliricidia + *U. decumbens*, e Sabiá + *U. decumbens*, respectivamente. No sistema silvipastoril formado por Sabiá + *U. decumbens*, em alguns períodos do ano foi necessário retirar os animais da área. O contraste observado entre os estudos indica que é necessário avaliar os benefícios da adoção de sistemas integrados no longo prazo e considerar ganhos a partir da diversificação da atividade produtiva (e.g. produção de madeira e estacas), bem como demais serviços ambientais obtidos a partir da integração.

A utilização de sistemas integrados contribui para redução dos gases do efeito estufa (CH_4, N_2O e CO_2), em função da imobilização de carbono, principalmente por raízes das plantas e componentes arbóreos e balanço favorável de carbono no sistema quando bem conduzidos (Leite et al., 2023). É importante compreender todas as fontes e drenos de carbono dentro do sistema e suas complexas interações de forma a garantir a sustentabilidade da atividade.

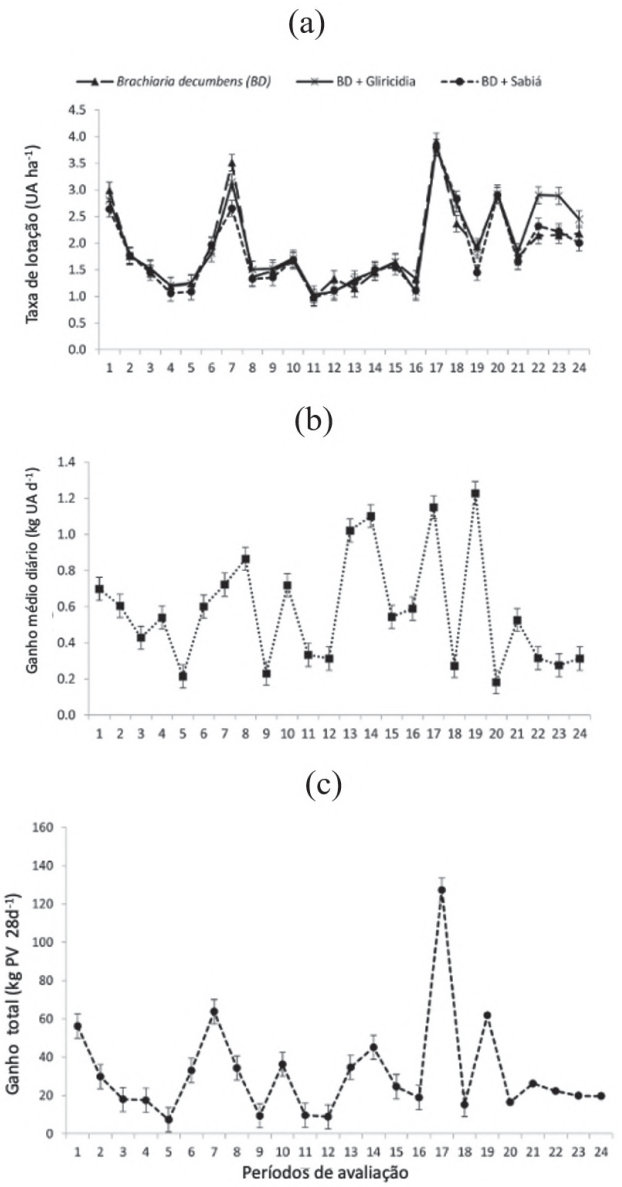

Figura 3. Taxa de lotação (a), ganho de peso médio diário (b) e ganho por área (c) em monocultivo de *Urochloa decumbens* e sistemas silvipastoris contendo leguminosas arbóreas.

Fonte: Adaptado de Costa et al. (2016).

Considerações finais

Os sistemas integrados de produção agropecuária podem, ser uma alternativa econômica e viável, capazes de contribuir para melhoria da sustentabilidade da atividade pecuária. Se bem planejados e conduzidos, podem prover diferentes serviços ecossistêmicos e ajudar o país a cumprir a metas estabelecidas para redução da emissão de gases do efeito estufa. Entretanto, faz-se necessário a avaliação de médio-longo prazo dos sistemas e compreensão das múltiplas interações dentro do sistema de forma a garantir o adequado aproveitamento dos recursos e identificação de oportunidades para melhoria dos serviços ecossistêmicos providos por estes sistemas.

A implantação de sistemas integrados de produção agropecuária requer investimento de recursos, e os diversos serviços obtidos precisam ser valorados para contribuir para a sustentabilidade da atividade. A utilização de sistemas integrados requer planejamento de operações e etapas, que acabam também contribuindo para mudança de visão do pecuarista, pois requerem elevado nível de gerenciamento da atividade e uso de práticas de cultivo, que em muitos casos, não são comuns em propriedades que desenvolvem a atividade pecuária convencional.

Referências

ALVES, B.J.R.; MADARI, B. E.; BODDEY, R. M. Integrated crop–livestock–forestry systems: prospects for a sustainable agricultural intensification. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.108, p.1-4, 2017. https://doi.org/10.1007/s10705-017-9851-0.

ALVES, F. V. O componente animal em sistemas de produção em integração. In: Bungenstab, D.J. (Ed.). Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2012. Cap. 10, p. 143-154. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/159854/1/O-componente-animal-em-sistemas-de-producao.pdf. Acesso em: 02 mar. 2023.

ANDRADE, C.M.S.; GARCIA, R.; COUTO, L.; PEREIRA, O.G. Fatores limitantes ao crescimento do capim-tanzânia em um sistema agrossilvipastoril com eucalipto, na região dos Cerrados de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.4, p.1178-1185, 2001. https://doi.org/10.1590/S1516-35982001000500007.

APOLINÁRIO, V.X.O.; DUBEUX JR, J.C.B., LIRA, M.A.et al. Tree legumes provide marketable wood and add nitrogen in warm-climate silvopasture systems. **Agronomy Journal**, v.107, p1915-1921, 2015. https://doi.org/10.2134/agronj14.0624

BALBINO, L.C.; KICHEL, A.N.; BUNGENSTAB, D.J. et al. Sistemas de integração: o que são, suas vantagens e limitações. In: BUNGENSTAB, D.J. (Ed.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta**. 2.ed. Brasília: Embrapa, 2012. Cap. 2, p.11-18. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/159845/1/Sistemas-de-integracao-o-que-sao-suas-vantagens-e-limitacoes.pdf. Acesso em: 13 fev. 2023.

BALBINO, L.C.; VILELA, L.; CORDEIRO, L.A.M et al. **Integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF): Região Sul**. Brasília: Embrapa, 2012a. 82p. (Apostila do Curso de Capacitação do Programa ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/82226/1/0000005512-ILPF-REGIAO-SUL.pdf. Acesso em: 06 fev. 2022.

BERNARDI, C. M. M.; MACEDO, H. R.; PINHEIRO, R. S. B. et al. Florestas plantadas de eucalipto em sistemas silvipastoris e o impacto da entrada do componente animal. **Revista Verde**, v. 9, n. 5, p. 125-132, 2014. Disponível em: https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/3160. Acesso em: 15 fev. 2023.

BERNARDINO, F.S.; GARCIA, R. Sistemas silvipastoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.60, p.77-87, 2009. Disponível em: https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/48. Acesso em: 25 jan. 2023.

BRUN, E.J.; DALPOSSO, D.M.; KUSS, F.et al. Danos causados por gado leiteiro no componente arbóreo de um sistema silvipastoril. **Ecologia e Nutrição Florestal**, v.5, p.33-44, 2017. https://doi.org/10.5902/2316980X25634.

CARVALHO, C.B.M.; MELLO, A.C.L.; CUNHA, M.V. et al. Ecosystem services provided by silvopastoral systems: a review about the environmental benefits. **Agroforestry System**. 2023 (in review).

CARVALHO, C.B.M.; MELLO, A.C.L.; CUNHA, M.V. et al. Initial growth and survival of *Eucalyptus* spp. and *Mimosa caesalpiniifolia* Benth. in silvopastoral systems and their impact on herbage accumulation of Urochloa decumbens Stapf R. D. Webster. **Agroforestry System**, v.96, p.1053–1064, 2022. https://doi.org/10.1007/s10457-022-00763-6

CARVALHO, M.M.; XAVIER, D.F. Sistemas silvipastoris para recuperação e desenvolvimento de pastagens. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Eds.). **Agroecologia**: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2012. Cap. 22. http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1079843. 25 Jan. 2023.

CARVALHO, P.; DOMICIANO, L.F.; MOMBACH, M.A.et al. Forage and animal production on palisadegrass pastures growing in monoculture or as a component of integrated crop–livestock–forestry systems. **Grass and Forage Science**, v.74, n.4, p.650-660, 2019. https://doi.org/10.1111/gfs.12448.

CARVALHO, P.C.F.; MORAES, A.; PONTES, L.S.; ANGHINONI, I.; SULC. R.M.; BATELLO, C. Definições e terminologias para Sistema Integrado de Produção Agropecuária. **Revista Ciência Agronômica**, v.45, p.1040–6, 2014. https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000500020

COSTA S.B.; MELLO, A.C.L.; DUBEUX JR., J.C.B. et al. Proportion and digestibility of tree legumes in diets of grazing cattle in a tropical silvopastoral system. Livestock Science, v.252, p104689, 2021. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104689

COSTA, S.B.M.; MELLO, A.C.L.; DUBEUX, J.C.B. et al. Livestock performance in warm-climate silvopastures using tree legumes. **Agronomy Journal**., v.108, p.2026-2035, 2016. https://doi.org/10.2134/agronj2016.03.0180

CRESTANI, S.; MASCHERONI, J. D. C.; GEREMIA, E. V. et al. Sward structural characteristics and herbage accumulation of Piatã palisade grass (*Brachiaria brizantha*) in a crop–livestock–forest integration area. **Crop and Pasture Science**, v. 68, n. 9, p. 859-871, 2017. https://doi.org/10.1071/CP16341.

DINIZ, W.P.S.; SANTOS, M.V.F.; VERÁS, A.S.C. et al. Morphological, productive, and nutritional characterization of *Desmanthus* spp. accessions under different cutting intensities. **Agroforestrey System**., v.95, p.571–581, 2021. https://doi.org/10.1007/s10457-021-00609-7

DOMICIANO, L. F.; MOMBACH, M. A.; CARVALHO, P.et al. Performance and behaviour of Nellore steers on integrated systems. **Animal Production Science**, v.58, n.5, p. 920-929, 2016. https://doi.org/10.1071/AN16351.

DOMICIANO, L.F.; PEDREIRA, B.C.; ABREU, J.G.et al. Recent advances in maize production in integrated systems: A review. **Scientific Electronic Archives**, v.13, n.5, p.1-11, 2021. https://doi.org/10.36560/14520211339.

FIKE, J. H.; BUERGLER, A. L.; BURGER, J. A.et al. Considerations for establishing and managing silvopastures. **Forage and Grazinglands**, v.2, n.1, p.1-12, 2004. https://doi.org/10.1094/FG-2004-1209-01-RV.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. ; ANTUNES, J. M.et al. Sistemas ILPF e transferência de tecnologia nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. (ed.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil**: estratégias regionais de transferência de tecnologia, avaliação da adoção e de impactos. Brasília, DF: Embrapa,

2019. Cap. 8. p. 281-313. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1118775. Acesso em: 22 fev. 2023.

GOMES, F.J.; PEDREIRA, B.C.; SANTOS, P.M. et al. Microclimate effects on canopy characteristics of shaded palisadegrass pastures in a silvopastoral system in the Amazon biome of central Brazil. **European Journal Agronomy**., v. 115, p.126029, 2020. 10.1016/j.eja.2020.126029

HERRERA, A.M.; MELLO, A.C.L.; APOLINÁRIO, V.X.O. et al. Potential of Gliricidia sepium (jacq.) Kunth ex Walp. and Mimosa caesalpiniifolia Benth. in silvopastoral systems intercropped with signalgrass [*Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster]. **Agroforestry System**, v.95, p.1061–1072, 2021. https://doi.org/10.1007/s10457-021-00625-7

LEITE, F.F.G.D.; NÓBREGA, G.N.; BAUMGÄRTNER, C.L. et al. Greenhouse gas emissions and carbon sequestration associated with Integrated Crop–Livestock–Forestry (ICLF) systems. **Environmental Reviews**, 2023. e-First https://doi.org/10.1139/er-2022-0095

MACEDO, R.L.G.; VALE A.B.; CARVALHO, F. et al. **Eucalipto em sistemas agroflorestais**. 2.ed. Lavras: Editora UFLA, 2018. Cap. 9, p.211-296.

MARTINEZ, G. B.; BOTELHO, F. J. E.; BENDAHAN, A. B. et al. Sistemas ILPF e transferência de tecnologia nos estados do Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia e Roraima. In: SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. (ed.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil**: estratégias regionais de transferência de tecnologia, avaliação da adoção e de impactos. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Cap. 2. p. 45-64. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1118776. Acesso em: Acesso em: 30 jan. 2023.

MONTAGNINI, F. et al. Sistemas agroflorestales: princípios y aplicaciones em los trópicos. San José: Organización para Estudos Tropicales, 1992. Cap. 3, p.57-98.

MOREIRA, E.D.S.; GONTIJO NETO, M.M.; LANA, A.M.Q. et al. Production efficiency and agronomic attributes of corn in an integrated crop-livestock-forestry system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.53, n.4, p.419-426, 2018. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000400003.

MORENO, L. S. B.; BOOTE, K.J.; SOLLENBERGER, L. E.et al. Shade and nitrogen fertilization affect forage accumulation and nutritive value of C4 grasses differing in growth habit. **Crop Science**, v.62, p.512–523, 2022. https://doi.org/10.1002/csc2.20617

NAIR, P.K.R. (Ed.). **Agroforestry systems in the tropics**. Dordrecht: Kluwer, 1989. 664 p.

NAIR, P.K.R. Classification of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, v.3, p.97-128, 1985. https://doi.org/10.1007/BF00122638.

NASCIMENTO, H. L. B.; PEDREIRA, B. C.; SOLLENBERGER, L. E. et al. Physiological characteristics and forage accumulation of grazed Marandu palisade grass (*Brachiaria brizantha*) growing in monoculture and in silvopasture with *Eucalyptus urograndis*. **Crop and Pasture Science**, v.70, n.4, p. 384-394, 2019. https://doi.org/10.1071/CP18403.r

PEDREIRA, B.C.; DOMICIANO, L.F.; RODRIGUES, R.R. A. Integração lavoura-pecuária: novas tendências. In: MEDEIROS, F.H.V. et al. (Ed.). **Novos sistemas de produção**. Lavras, MG: UFLA, 2017b. Cap.9, p.128–160. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/167913/1/Cap-9-Novos-sistemas-de-producao-2017.pdf. Acesso em: 22 fev. 2023.

PEZZOPANE, J.R.M.; BERNARDI, A.C.C.; BOSI, C. et al. Forage productivity and nutritive value during pasture renovation in integrated systems. **Agroforestry Systems**, v. 93, p.39-49, 2019. https://doi.org/10.1007/s10457-017-0149-7.

PONTES, L.S.; TULLIO, G.F.; MARTINS, A.S.et al. Corn yield for silage and grains in different integrated crop-livestock systems**. Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 2, p. 315-323, 2018. https://doi.org/10.5935/1806-6690.20180036.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A.; MOLETTA, J.L.et al. Danos causados por bovinos em diferentes espécies arbóreas recomendadas para sistemas silvipastoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.32, n.70, p.183-192, 2012. https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.70.67.

RANGEL, J. H. A.; MUNIZ, E. N.; SOUZA, S. F. et al. Sistemas ILPF e transferência de tecnologia nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia. In: SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. (ed.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil: estratégias regionais de transferência de tecnologia, avaliação da adoção e de impactos**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Cap. 5. p. 164-191. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/215101/1/Sistemas-ILPF-e-transferencia-de-tecnologia-nos-estados-2019.pdf. Acesso em: 30 jan. 2023.

SANTANA, D. P.; NOCE, M. A.; BORGHI, E. et al. Sistemas ILPF e transferência de tecnologia nos estados do Espírito Santo, Minas Gerais e Rio De Janeiro. In: SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. (ed.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil**: estratégias regionais de transferência de tecnologia, avaliação da adoção e de impactos. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Cap. 6. p. 192-233. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/209120/1/Sistemas-ILPF.pdf. Acesso em: 30 jan. 2023.

SILVA, I.A.G.; DUBEUX, J.C.B.; MELO, A.C.L. et al. Tree legumes enhance livestock performance in silvopasture system. **Agronomy Journal**, v.113, p.358-369, 2021. https://doi.org/10.1002/agj2.20491

SKORUPA, L.A.; BEHLING, M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V. O eucalipto e os desafios para a transferência de tecnologias em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). In: OLIVEIRA, E.B. de; PINTO JÚNIOR, J.E. (Eds.). **O eucalipto e a Embrapa**: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Cap. 35, p.1147-1160. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/223925/1/EmbrapaFlorestas-2021-LV-EucaliptoEmbrapa-cap35.pdf. 30 Jan. 2023.

SLAVIKOVA, S.P. **Sustainable agroforestry systems and practices in agriculture**. 15 dez. 2019. Disponível em: https://greentumble.com/agroforestry-systems-and-practices/. Acesso em: 15 fev. 2023.

TEIXEIRA NETO, M. L.; ARAÚJO NETO, R. B.; ALCÂNTARA, R. M. C. M.et al. Sistemas ILPF e transferência de tecnologia nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Oeste da Bahia. In: SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. (ed.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil**: estratégias regionais de transferência de tecnologia, avaliação da adoção e de impactos. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Cap. 4. p. 105-163. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/208781/1/SKORUPA1-Sistemas-Integracao-2019.pdf. Acesso em: 30 jan. 2023.

TRICHES, G. P.; MORAES, A. D.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.et al. Damage caused by cattle to *Eucalyptus benthamii* trees in pruned and unpruned silvopastoral systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, e01275, 2020. https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2020.v55.01275.

WRUCK, F. J.; PEDREIRA, B. C.; BEHLING, M. et al. Sistemas ILPF e transferência de tecnologia nos estados de Mato Grosso, Goiás e Distrito Federal. In: SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. (ed.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil**: estratégias regionais de transferência de tecnologia, avaliação da adoção e de impactos. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Cap. 3. p. 65-104. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/209633/1/CNPAF-2019-cap3.pdf. Acesso em: 30 jan. 2023.

ZIMMER, A. H.; SALTON, J. C.; BALBINOT JÚNIOR, A. A. et al. Sistemas ILPF e transferência de tecnologia nos estados do Mato Grosso do Sul, Paraná e São Paulo. In: SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. (ed.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil**: estratégias regionais de transferência de tecnologia, avaliação da adoção e de impactos. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Cap. 7. p. 234-280. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/208807/1/cap-7.pdf . Acesso em: 30 jan. 2023.

16

Taninos em plantas forrageiras

James Pierre Muir[1]
Harley Dean Naumann[2]
Mércia Virginia Ferreira dos Santos[3]
Dulciene Karla de Andrade Silva[4]
Rayanne Thalita de Almeida Souza[5]

Introdução

Nos últimos anos, pesquisas na área de nutrição de ruminantes avaliando os efeitos de compostos secundários de plantas forrageiras, principalmente taninos, na modulação do ecossistema ruminal para melhorar a eficiência da utilização dos nutrientes têm sido crescentes. A quantidade de tanino presente na forragem varia com a espécie, condições edafoclimáticas, fração da planta, entre outros. A presença de metabólitos secundários na dieta, particularmente os taninos, têm sido associadas a melhorias na utilização do nitrogênio, mitigação de metano, controle de helmintos, biohidrogenação ruminal e melhorias na qualidade da carne e do leite de animais ruminantes.

[1] Universidade Texas A&M.
[2] Universidade de Missouri.
[3] Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil. Bolsista do CNPq.
[4] Universidade Federal do Agreste de Pernambuco.
[5] Secretária de Educação de Pernambuco.

O presente capítulo, objetiva apresentar diferentes aspectos da presença de taninos em plantas forrageiras.

O papel do tanino condensado na planta forrageira

Origem

Os taninos condensados, bem como hidrolisáveis, na forragem são tradicionalmente, considerados como compostos secundários ruins na nutrição do ruminante. Os taninos hidrolisáveis (TH) são tóxicos, conforme o nível de ingestão. Neste capítulo, se enfocará mais os taninos condensados (TC) que, embora tendam a diminuir a palatabilidade, ingestão e digestibilidade da forragem, podem ser uteis no ecossistema do ruminante. Existem várias teorias quanto ao seu proposito original na história do complexo planta-animal, mas supõe-se que se trata de proteção contra microorganismos antes da evolução dos grandes herbívoros. Mesmo antes da chegada dos mamíferos, a teoria prevalente é que algumas plantas desenvolveram a acumulação de taninos como proteção contra insetos herbívoros. Portanto, convém entender os taninos como existentes antes da chegada dos ruminantes.

Provavelmente, na maioria dos casos, tem sido o ruminante que se adaptou aos taninos, e não o contrário. Por exemplo, alguns ramoneadores (ruminantes que se especializam no consumo de dicotiledôneas) como a cabra ou muitos ruminantes silvestres na África austral, evoluíram a capacidade de neutralizar os taninos condensados através de proteínas, como a prolina, excretada na saliva. Outros ruminantes, como por exemplo a ovelha ou o bovino, desenvolveram a preferência por gramíneas, evitando o consumo de forragem com altos níveis de TC. Portanto, foram os ruminantes que se adaptaram ou estão em vias de se adaptarem aos TC nas plantas e não as plantas, necessariamente, que adotaram esse modo de proteção contra os ruminantes.

A microbiota ruminal também se adapta ao consumo de TC pelo seu ruminante hospede. Vários estudos demostram que o microbioma no rúmen que digere material vegetativo alto em TC, contém mais microorganismos capazes de decompor esses compostos. Por isso se recomenda que animais sejam adaptados gradualmente a dietas contendo alto teor de TC. Da mesma forma, a digestibilidade *in vivo* ou *in vitro* de plantas contendo altos níveis de TC deve ser medida somente após um período adequado de adaptação do microbioma ruminal do doador de líquido ruminal a forragem específica.

Proteção anti-herbívoria

Os taninos, especialmente o TH, são considerados em geral como fator negativo na alimentação dos ruminantes. Mesmo durante o consumo, a sua adstringência diminui a palatabilidade e, portanto, o consumo da planta. Depois de ingerido, os taninos tendem a diminuir a digestibilidade da forragem, não somente no rúmen como também nos demais compartimentos do sistema gastrointestinal. Por exemplo, a absorção de P no intestino dos bovinos pouco adaptados ao consumo de TC diminui na presença desses compostos secundários. Em geral, especialmente para as espécies ruminantes que preferem consumir gramíneas e estão pouco adaptados ao consumo de plantas contendo TC, esses compostos devem-se evitar nas dietas de ruminantes, especialmente em altos níveis.

A avaliação negativa do uso de TC na alimentação dos ruminantes, tem diminuído nos últimos tempos. Alguns TC com forte ação biológica (definida como a capacidade de se complexar com proteínas) podem ser uteis no ecossistema ruminante em quantidades ideais. A adaptação dos ramoneadores ao consumo de forragens contendo TC tem a vantagem adicional de favorecer as espécies animais que se especializam na tolerância do consumo desse composto secundário. Muitas dessas plantas contêm altos níveis de proteínas e outros nutrientes que, quando reservados, por causa da sua baixa palatabilidade, a alimentação de ramoneadores, garantem a sobrevivência e até domínio dessas espécies animais nesses ecossistemas.

Localização: Folha, flor, vagem, casca do caule ou semente

A maioria das pesquisas identificando a presença de TC nas várias estruturas anatômicas nas forrageiras tem focado as folhas. Conhece-se menos sobre as concentrações de TC nas raízes, madeiras, casca do caule/raiz, inflorescência ou vagem/casca da semente. Esta falta de dados, especialmente no que concerne as raízes e sementes, é preocupante, pois essas estruturas são obviamente importantes, em termos de interação planta/animal, para as plantas forrageiras. Pressupõe-se que a folha é o repositório da maioria dos TC em plantas que se defendem com esses compostos secundários. Entretanto, a verdade, é que pouco se conhece sobre o teor total de TC na planta completa relativo aos TC na folhagem e outras frações anatômicas. Na reprodução vegetativa através de rizomas ou estolões, bem como sementes, os recursos que a planta investe nos TC pode ter um papel muito maior do que se considera.

Que tipo de forragem contém TC?

As monocotiledôneas raramente contêm taninos em quantidades significativas. A presença de espécies forrageiras dicotiledôneas contendo TC predomina em ecossistemas subtropicais e tropicais áridos e semiáridos, a exemplo do Nordeste do Brasil. Não são exclusivas a essas regiões, mas são geralmente mais comuns do que em climas mais frios e/ou húmidos. Não é, portanto, surpreendente, que a presença de espécies ruminantes nativas a essas zonas é, por consequência, também adaptada ao consumo de TC. A biodiversidade específica (espécies) de ramoneadores é maior e reflete a maior biodiversidade de plantas contendo TC nos climas quentes e secos, por exemplo na África Austral.

Embora ainda estejamos longe de um levantamento completo das espécies dicotiledôneas forrageiras contendo TC, das que já foram pesquisadas, em geral, os TC de maior teor e eficaz biologicamente predominam nas herbáceas perenes. As herbáceas anuais raramente contêm TC.

A lógica é de que as espécies de ciclo reprodutivo curto se mantêm no ecossistema predominantemente através da auto-resemeadura; não faz sentido, portanto, investir nos produtos secundários de proteção as folhas, raízes ou caules efêmeros. Em geral, as herbáceas contêm mais TC que as arbustivas que, por sua vez, contém mais que as arbóreas. Não significa que o TC não exista nas arbóreas; existe simplesmente uma tendencia de investir menos nos compostos secundários de proteção anti-herbivoria com a aumento de porte.

Caracterização dos taninos

O que é tanino condensado?

Taninos representam um dos mais abundantes compostos secundários nas plantas forrageiras, encontrados principalmente nas dicotiledôneas. São um grupo de grande diversidade química. Os taninos mais comuns dividem-se tipicamente em dois grupos baseados na sua estrutura química: hidrolisáveis (TH) ou condensados (TC). TH são ésteres de ácidos gálicos ou elágicos ligados a um poliol central, tipicamente glucose. TC são compostos por subunidades de flavan-3-ol ligados para formar oligômeros e polímeros. TC definem-se como sendo adstringente, compostos polifenolicos de médio a alto peso molecular que tipicamente seguram e precipitam proteínas.

Produto secundário

TC representam um dos numerosos produtos secundários na planta. Metabolitos secundários não tem impacto direto nos processos normais da planta forrageira. No entanto, o seu papel verifica-se principalmente na mediação da interação planta-ecossistema. Estas interações podem incluir o microbiota da planta, microbiota do solo, a seletividade, ingestão, fermentação no rúmen, digestibilidade e parasitose no ruminante, bem como a decomposição de fezes e serrapilheira e raízes no solo.

Diversidade química

As subunidades de flavan-3-ol de CT variam bastante, mas normalmente incluem catequina, epicatequina, galocatequina e epigalocatequina (Naumann et al., 2017). Flavan-3-ols diferem na sua configuração na substituição de hydroxyl e a sua relativa substituição de estereoquímica dos anéis carbônicos C-2 e C-3. Catequina e epicatequina tem a mesma padronização hidroxilatica (substituição de fenóis no C-5 e C-7 do anel-A-ring, C-3 e C-4 do anel-B e substituição de álcool no C-3 do anel-C). A única diferença é a orientação relativa no espaço do substituto no C-anel do C-3. Se o substituto C-2/C-3 do C-anel são representados por traços, bem como cunhas, os substitutos aparecem na configuração cis. Quando existem dois ou mais centros quirais (assimétricos), nos vínculos traço e cunha, mas só uma se inverte de traço para cunha ou vice-versa dos pares de estruturas que, fora esse fator, são idênticas, o isômero se refere como um epímero. Dessa forma, catequina com uma inversão C no C-3 central do anel identifica-se com epicatequina.

Galocatequina e epigalocatequina diferem da catequina ou epicatequina por incluir um fenol substituto no anel-B (Naumann et al., 2017). Este padrão de substituição no anel aromático, com três fenóis substitutos em C adjacentes, se referem como galo substitutos. Assim, com este padrão de substituição, catequinas se transformam em galocatequinas, bem como epicatequinas em epigalocatequinas. Catequina e epicatequina se referem como subunidades de procianidinas (PC) porque, quando oxidificadas, ambos se transformam em cianeto. De igual forma, galocatequinas e epigalocatequinas se referem como subunidades de prodelfinidina (PD) porque, quando oxidificados, ambos se transformam em delfinidinas.

A junção de subunidades de flavan-3-ol que compõem oligômeros e polímeros de TC podem ocorrer através de vários tipos de padrões de ligações covalentes (Naumann et al., 2017). O padrão mais comum inclui ligações de posição C-4 no anel-C de um flavan-3-ol para o carbono C-8 da sub-unidade flavan-3-ol ou

a posição do C-4 para anel-C de um dos favan-3-ols para o carbono C-6 da próxima subunidade flavan-3-ol. Estas ligações se referem como tipo-B e são identificados mais especificamente como ligações tipo 4-8 ou 4-6. A terceira ligação mais prevalente de interflavan resulta da formação de duas ligações covalentes entre subunidades participantes de flavan-3-ol. Por exemplo, para além das existentes ligações tipo-B 4-8, uma ligação covalente se forma com o átomo de oxigênio C-7, do próximo carbono C-8, para o carbono C-2 da conectada subunidade flavan-3-ol que se refere como sendo a ligação padrão 4-8, 2-O-7, mais comumente conhecida como ligação interflavan tipo-A.

Fontes de variabilidade

Muitos isômeros únicos podem ser derivados através de uma coleção pequena de subunidades de falvan-3-ol e um conjunto definido de ligações interflavanais. O cálculo de números de possíveis isômeros num TC (Naumann et al., 2017) se consegue através da equação (A^m x B^n) = número de possíveis isômeros, onde: A = número de diferentes favan-3-ol no composto; m = número específico de subunidades de flavan-3-ol no composto; B = número de diferentes tipos de ligações interflavan presentes no composto, e; n = número de ligações interflavan no composto. O número de diferentes compostos que poderiam surgir do TC contendo duas subunidades flavan-3-ol diferentes e os dois tipos de ligações interflavan podem ser consultados em Naumann et al. (2017).

Atividade biológica do TC

Como se define "atividade biológica" do TC? Conforme Jackson et al. (2007), o termo geral define-se como "a capacidade de uma molécula especifica atingir um efeito biológico definido**.**" No caso do TC na planta forrageira, esse efeito depende da atividade que nos interessa, como, por exemplo, na microbiota ruminal. Portanto, o efeito biológico do TC no ecossistema do ruminante pode ser sua capacidade de aderir/ligar as proteínas, lipídios, carboidratos ou micromoléculas contendo minerais. De uma forma mais geral, atividade biológica pode-se definir como atividade anti-helmíntica, antimicrobiana ou modificação da fermentação entérica no ruminante.

Importância da atividade biológica

E importante entender a atividade biológica dos taninos de cada espécie forrageira no seu bioma. Por exemplo, a concentração de um TC de uma espécie forrageira especifica desenvolvida num ambiente específico e fornecido a uma espécie ou raça animal específica pode ser considerado como tendo uma bioatividade muito especifica. Porém, basta modificar qualquer uma destas condições especificas para modificar a concentração necessária para atingir a mesma atividade biológica. Se modificamos mais de um fator, o efeito biológico torna-se ainda mais imprevisível, em relação ao efeito da combinação de efeitos originais. Este(s) fenômeno(s), na maioria dos casos, explica(m)-se através das variadas e numerosas versões de estruturas bioquímicas da molécula de TC, resultantes da genética da planta, condições ambientais de crescimento da planta, fisiologia do animal, microrganismos do solo ou rúmen etc.

Como medir?

As estruturas químicas de TC pode ser medida usando metodologia sofisticada de laboratório e instrumentos como ^{1}H-^{13}C HSQC NMR espectroscopia e resolução extra-alta MALDI-TOF MS. Porém, a concentração de TC pode ser mais facilmente medida, bem como a sua bioatividade, usando metodologias laboratoriais mais simples e uniformizadas para facilitar a comparação entre diversas espécies plantas e animais.

O método butanol-HCl e as suas diversas interações colorimétricas medem TC após hidrolise de ligações interflavanais. Este método, fornece uma estimativa razoável da concentração/teor de TC solúvel, aderido às proteínas e aderida aos carboidratos da forrageira ou outro alimento. Os detalhes específicos deste método podem-se ver no Terrill et al. (1992). É importante referir que o padrão de cada espécie de planta forrageira deve-se estabelecer através do TC purificado dessa mesma espécie e condições ambientais em que cresceu (Wolfe et al., 2008). Porém, resultados desse método variam, dependendo da estrutura química, bem como reatividade das ligações interflavanais.

A reatividade com TC baseado em 5-deoxy flavan-3-ol como, por exemplo encontrados na *Acaciella angustissima* (Mill.) são particularmente limitados pela reduzida reatividade da ligação interflavan. Por essa razão, os métodos que estimam a concentração de TC através da precipitação de uma proteína animal padrão, como albumina derivada de sérum animal, medem a atividade biológica do TC de uma forma mais universal e comparável. Esta metodologia pode ser encontrada em Naumann

et al. (2014). A metodologia de precipitação proteica é útil quando se deseja focar a interface planta-ruminante e o efeito biológico do TC, independente do teor ou estrutura bioquímica.

A metodologia de coleta e preparação da quantificação de TC são fatores importantes. A utilização de polifenóis bioativos para beneficiar a produção animal depende da nossa compreensão da fenologia específica do TC. O teor de TC na forragem pode aumentar, diminuir ou manter-se estável, dependendo da forragem e os efeitos de ontologia, clima, solos, manejo etc. A preparação da amostra, especialmente o método de secagem, também impacta a fenologia do TC, bem como o teor total. Por exemplo, a liofilização da amostra, comparado com secagem a altas temperaturas, tende a resultar em maiores teores de TC, especialmente o componente solúvel.

Concentração de taninos nas frações da planta

Folha

O teor de taninos na folha varia bastante, conforme a genética da planta. Raramente aparece nas gramíneas. As leguminosas perenes provenientes de ecossistemas quentes e áridos tem a tendencia de investir na acumulação de TC. Entre espécies existe variabilidade, tanto da capacidade de acumulação, bem como no potencial biológico. A estratégia reprodutiva, bem como a sua vulnerabilidade ao ataque herbívoro pode influenciar a acumulação ou não (Tabelas 1 e 2). Porém, dentro da mesma espécie pode também haver variabilidade na capacidade genética de acumulação e bioatividade de taninos dos diferentes ecotipos. O teor de tanino condensado varia de espécie para espécie, dependendo das necessidades e adaptações de cada no seu ambiente. As leguminosas perenes de climas quentes áridos ou semiáridos de porte herbáceo tem a tendencia de acumular maiores teores de tanino condensado do que as anuais ou arbóreas (Tabela 3).

Tabela 1. Taninos extraíveis (mg/kg), aderidos a proteína, aderidos a fibra e total em espécies de leguminosas herbáceas no Texas, EUA

Espécie	Porte	Ecossistema	Reprodução	Extraído	Aderido à proteína	Aderido a fibra	Total
Acaciella angustissima	Ereto Baixo	Savana graminal	Estolões/ Semente determinante	7,0	6,0	0,2	13,2
Rhynchosia senna	Trepadeira	Savana intermediária	Semente indeterminante	43,0	19,0	0,4	62,4
Galactia volubilis	Trepadeira	Floresta	Semente indeterminante	71,0	18,0	0,8	89,8
Desmodium paniculatum	Ereto Alto	Savana florestal	Semente determinante	160,0	30,0	1,0	191,0

Tabela 2. Estimativa de taninos condensados, conforme o porte e estratégia reprodutiva

Porte da planta	Tanino condensado	Estratégia reprodutiva	Tanino condensado
Herbácea	+ - +++++	Anual	0
Arbustiva	+ - +++	Perene	+ - +++++
Arbórea	0 - ++	Vegetativa	0 - ++

No entanto, esse potencial genético na acumulação de TC se expressa de uma forma variável, dependendo de uma série de condições ambientais. Em geral, o stress a planta tende a estimular a expressão do potencial de uma forma, por vezes, mal definida. Alguns fatores como temperaturas extremas ou estresse hídrico fazem sentido, pois pressupõe-se que a planta tem que proteger a pouca folhagem que tem. A resposta ao herbívoro também faz sentido, pois quanto mais TC se acumula no rebrote da folhagem, menos palatável será a forragem quando o herbívoro voltar. Outros estresses são menos lógicos, como por exemplo a falta de nutrientes chaves ou a baixa de pH. O efeito desses estresses na mudança da capacidade da atividade biológica do TC é menos definida e merece mais atenção em futuras pesquisas.

A verdade, é que essa variabilidade pode ser vantajosa na produção animal. Quando se requer maiores concentrações de TC, pode-se estressar a planta; quando se considera o tanino como indesejável, a diminuição de estresse seria lógica. Por exemplo, uma pastagem submetida a baixa quantidade de chuva em que o baixo de teor de TC é desejável, a rega seria uma solução. No entanto, quando se prevê um

mercado que procura feno contendo altos níveis de TC, então esse pasto não deve ser altamente regado, nem adubado.

Fatores que afetam o teor de taninos

Nutrientes e pH do solo

Espécies vegetais cultivadas em ambientes pobres em nutrientes resulta na produção de altos níveis de compostos secundários à base de carbono, por exemplo: taninos (Hofland-Zijlstra e Berendse, 2009). De acordo com Akula et al. (2011), quando as plantas são submetidas à estresse quanto a diminuição nas quantidades de nutrientes disponíveis no solo, a produção de metabólitos secundários pode aumentar porque o crescimento é de maneira geral mais inibido do que a fotossíntese propriamente dita, e o carbono fixado na fotossíntese é predominantemente direcionado para a produção de metabólitos secundários. Ainda segundo os mesmos autores, deficiências em nitrogênio e fosfato levam ao acúmulo de metabólitos secundários fenólicos, como taninos. Waghorn e McNabb (2003) afirmam que estes compostos podem ser produzidos como forma de conservação de energia e nitrogênio para mobilização em momentos de necessidade e recuperação da planta, já que são produzidos através de intermediários gerados pela via das pentoses-fosfato e a partir do metabolismo das chalconas, produzida a partir do aminoácido fenilalanina.

Os dois tipos de taninos (hidrolisáveis e condensados) também podem afetar a disponibilidade de nutrientes no solo, pois interagem com as proteínas disponíveis durante a decomposição da matéria orgânica no solo, no sentido de que os complexos tanino-proteína são difíceis de mineralizar e, posteriormente, determinam as proporções de nitrogênio liberadas em formas orgânicas e inorgânicas (NH_4^+, NO_3^-) (Fierer et al., 2001). Naumann et al. (2014) afirmam que os TC com maior peso molecular exibem maior eficiência de ligação com proteínas do que os demais com peso molecular mais reduzido.

Jacobson et al. (2005), avaliando a influência de fatores do solo na produção de fenóis totais e taninos em duas espécies de barbatimão em quatro localidades da região de cerrado, em Goiás, nas estações seca e chuvosa do ano, observaram que a produção desses metabólitos se correlaciona positivamente com solos arenosos, de baixo teor de argila e com pequena porcentagem de matéria orgânica. Já na época chuvosa, correlaciona-se diretamente com a saturação por alumínio no solo

e, inversamente, com pH, saturação por bases, teores de cálcio e magnésio e a capacidade de troca catiônica do solo.

Souza et al. (2020), avaliando a influência de diferentes fatores edafoclimáticos sobre a variação dos teores de taninos em *Mimosa tenuiflora* (Wild.) Poiret. (Jurema-preta) (Figura 1A) e *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan. (Angico-vermelho) (Figura 1B) coletados em áreas de Caatinga de diferentes estados do Nordeste, observaram que os nutrientes do solo que mais influenciaram no teor de taninos destas espécies foram pH (r=-0.889), alumínio (r=0.9209), cálcio (r=-0.7527) magnésio (r=-0.5267), fósforo (r=-0.777), carbono (r=0.513), matéria orgânica (r=0.5138) e nitrogênio (r=0.743). Os teores de taninos condensados (TC) variaram de 138 g TC/kg MS à 550 g TC/kg MS, observando-se na Jurema-preta os valores mais altos.

Figura 1. A. Identificação do caule, espinhos, folhas e vagem de *Mimosa tenuiflora* (Wild.) Poiret. (Jurema-preta); B. Projeções na superfície da casca do caule de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan (Angico-vermelho). Arcoverde/PE - outubro/2014.

Concentrações elevadas de Níquel (Ni) reduzem o crescimento da planta (Marschner, 1995). A diminuição significativa nos níveis de antocianina (tipo de flavonóis, unidade básica dos taninos) devido aos altos níveis de Ni foi relatada por Hawrylak et al. (2007). Além disso, foi observado que teores traços de Ni tem

a capacidade de inibir o acúmulo de antocianinas, pois limitam a biossíntese de antocianinas, inibindo a atividade da fenilalanina amônia-liase, enzima chave e regulatória da rota de biossíntese dos fenilpropanóides e seus derivados, catalisando a transformação, por desaminação, do aminoácido L- fenilalanina, em ácido trans-cinâmico, sendo este o primeiro passo para a biossíntese dos taninos nos vegetais (Krupa et al., 1996).

Temperatura

Variações nas condições climáticas sazonais do ambiente, incluindo temperatura, luz e duração do dia, geralmente afetam as características nutritivas das plantas forrageiras (Van Soest, 1994). Oliveira et al. (2015) observaram que altas temperaturas favorecem a síntese de TC quando avaliaram espécies forrageiras de diferentes zonas fisiográficas do Semiárido Nordestino. No entanto, devido ao crescimento limitado dessas espécies sob condições de baixa umidade do solo e altas temperaturas, é possível que um grande investimento em proteção contra os fatores adversos do ambiente resulte em crescimento limitado e possa melhorar a capacidade de persistência da planta, em comparação com as espécies que não possuem crescimento limitado por baixa umidade do solo e altas temperaturas.

As estratégias das plantas para respostas ao estresse são explicadas por Bryant et al. (1983), que propõem que há uma troca entre o acúmulo de carbono e a produção de biomassa para a síntese de compostos secundários, que é induzida quando as plantas experimentam estresse no nível celular. Assim, a produção de metabólitos secundários varia, mas está inversamente relacionada ao crescimento da planta, onde a demanda de carbono aumenta durante os processos de diferenciação tecidual e crescimento celular, reduzindo a produção de metabólitos secundários.

A principal via de síntese dos taninos é a partir do ácido chiquímico, que é regulado principalmente por fatores ambientais, como a temperatura do ar (Pavarini et al., 2012; Taiz e Zeiger, 2013). Os flavonóides (unidades fundamentais dos taninos) sintetizados por esta via metabólica desempenham um importante papel ecofisiológico como proteção dos tecidos vegetativos contra os efeitos nocivos da radiação UV e altas temperaturas.

Assim, a influência na produção dos TC devido à alta radiação UV é sinergicamente aumentada pelas altas temperaturas e seca. Estresse hídrico e altas temperaturas (de 30 a 45 °C) correlacionam-se com a concentração de flavonóides em *Cistus ladanifer* (Chaves et al., 1997). Radušienė et al. (2012) relataram que altas

temperaturas são diretamente influenciadas pelo acúmulo de compostos fenólicos em *Hypericum perforatum* L.

Souza et al. (2020), avaliando a influência de diferentes fatores edafoclimáticos sobre a variação dos teores de TC em *Mimosa tenuiflora* (Wild.) Poiret. (jurema-preta) e *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan. (angico-vermelho) coletados em áreas de Caatinga de diferentes estados do Nordeste, observaram que a baixa pluviosidade, umidade do solo e as altas temperaturas do ar favoreceram o acúmulo de taninos como proteção vegetal, limitando crescimento e favorecendo a sobrevivência das plantas.

Herbivoria

A relação herbívoro-planta é essencial na distribuição e abundância das espécies no tempo e no espaço, nas adaptações responsáveis pela diversidade e nas implicações para a ecologia e processos evolutivos (Silva et al., 2020). A herbivoria leva à perda tecidual da planta, podendo resultar em alterações em sua fisiologia, modificando seu metabolismo e comprometendo aspectos como crescimento, reprodução e sobrevivência das espécies vegetais. Para evitar ou diminuir a herbivoria, as plantas desenvolveram diversos tipos de estratégias, como defesas químicas (exemplo: síntese de taninos), troca foliar e defesas físicas (exemplo: espinhos e tricomas) (Dourado et al., 2016).

A produção de TC que se acumulam nos tecidos vegetais comanda uma variedade de funções diversas, mas principalmente para defesa contra herbívoros, fungos e bactérias (Khare et al., 2020). Com o acúmulo de taninos, estas fontes alimentares podem ser menos palatáveis por conferir sabor amargo e adstringente, que é dado pela grande capacidade de ligação com proteínas salivares e dietéticas (Cooper et al., 2014; Naumann et al., 2017). Desta forma, limitando o consumo pelos animais, insetos, etc, bem como, alterando a utilização de seus nutrientes. No entanto, a capacidade de ligação com proteínas dos taninos também pode fornecer um benefício nutricional para os animais, contribuindo para aumentar a proteína não-degradável do rúmen, disponibilizando maior aporte da proteína para degradação e absorção intestinal (Mezzomo et al., 2015), efeitos anti-helmínticos gastrointestinais (Naumann et al., 2014) e mitigação da produção de gases no rúmen (Naumann et al., 2013).

Além dos efeitos citados, pode-se citar ainda o desenvolvimento de estratégias comportamentais e de adaptação do próprio animal para minimizar os efeitos nocivos dos taninos na dieta. Como exemplo, a ingestão de alimentos com

altos teores de taninos condensados pode induzir a alta taxa de produção de saliva com presença de prolina, para que sejam mais tolerantes aos efeitos dos taninos. Estes estudos foram feitos em ratos e veados, entretanto, estudos realizados em caprinos (Figura 2), têm indicado que o maior tamanho de suas glândulas parótidas em relação ao peso corporal aliado a composição diferenciada do fluido salivar, rico em proteínas, torna uma saliva mais viscosa, que além das funções conhecidas de lubrificação e tamponamento do pH, protege o animal contra efeitos negativos dos compostos secundários (Waghorn, 2008).

Silva et al. (2020), avaliando a herbivoria causada por caprinos em *Cocos nucifera* L. em uma região semiárida de Pernambuco, dividindo em tratamentos com herbivoria e sem herbivoria, observaram que os taninos condensados foram encontrados em maior quantidade nos tratamentos em que houve herbivoria, quando comparado ao que não houve herbivoria. Além do que foi mencionado acima, os taninos condensados possuem uma função muito importante que está relacionado com a recomposição do teor de nitrogênio na planta após uma perda considerável de biomassa.

Figura 2. Caprinos em ramoneio em área de Caatinga, no Semiárido nordestino, Piranhas/AL, janeiro/2013.

Os resultados descritos acima podem ser mais bem explicados por Madritch e Lindroth (2015), que citam que os TC são regulados positivamente pela desfolha, e a variação genética mediada na produção de taninos persiste, porque os fenótipos de alto TC recuperam mais nitrogênio após a desfolha para a rebrota, do que os

fenótipos de baixo tanino. Assim, os taninos das plantas podem servir como fatores de tolerância, em vez de resistência.

Oliveira et al. (2022), avaliando a bioatividade dos TC presentes em *Bauhinia cheilantha* (Bong) Steud. (Mororó) sob pastejo por ovinos, manejados em diferentes ofertas de forragem, em área de Caatinga em Serra Talhada-PE, observaram que *B. cheilantha* produziu até 167 g kg^{-1} de taninos condensados na menor oferta de forragem, observando maior bioatividade destes taninos nos animais.

Taninos de espécie forrageiras e impactos no rúmen

Nos últimos anos, pesquisas na área de nutrição de ruminantes avaliando os efeitos de compostos secundários de plantas forrageiras, principalmente taninos, na modulação do ecossistema ruminal para melhorar a eficiência da utilização dos nutrientes têm sido crescentes (Caldas et al., 2021; Besharati et al., 2022; Mahachi et al., 2023; Oliveira et al., 2022; Van Cleef et al., 2022).

Diversas biomoléculas produzidas pelo metabolismo secundário de plantas, embora, não diretamente relacionados a produção de nutrientes para completar seu ciclo de vida, são imprescindíveis para sua adaptação ao meio ambiente, competição com outros vegetais, defesa e, mesmo, reprodução, como atrativo de polinizadores (Taiz e Zeiger, 2013). A presença de metabólitos secundários na dieta, particularmente os taninos, têm sido associadas a melhorias na utilização do nitrogênio (Patra e Saxena, 2011), mitigação de metano (Van Cleef et al., 2021, Sezmis et al., 2023), controle de helmintos (Klongsiriwet et al., 2015; Yoshihara et al., 2015), biohidrogenação ruminal (Buccioni et al., 2015) e melhorias na qualidade da carne e do leite de animais ruminantes (Henke et al., 2017; Oliveira et al., 2022).

Taninos e metabolismo proteico em ruminantes

Diversas plantas forrageiras, em especial as leguminosas são ricas em TC e sua utilização como estratégia para melhorar a eficiência de utilização do nitrogênio dietético é um desafio para a nutrição de ruminantes (Aguerre et al., 2016; Roca-Fernandez et al., 2020). A habilidade dos TC se ligarem às proteínas, através de pontes de hidrogênio, formando complexos estáveis, em pH fisiológico (pH 6,8) no rúmen é bem documentada na literatura (Naumann et al., 2017; Nascimento et al., 2021). Entretanto, resultados robustos sobre bioatividade e a capacidade proteger a proteína da degradação microbiana, com posterior dissociação no abomaso (pH 2,5-3,5), possibilitando maior fluxo de aminoácidos para intestino delgado (ID), precisam maiores investigações.

Várias plantas forrageiras como *Bauhinia cheilanta* Bong. Steud, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir., *Prosopis juliflora* (Sw.) DC., *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth., *Clitoria ternatea* L., *Acacia mearsnii* de Wild., *Lespedeza cuneata* (Dumont de Courset) G.Don., *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.), *Medicago sativa* L., *Lotus corniculatus* L., entre outras, são bastante utilizadas na alimentação de ruminantes como forma de melhorar o aporte nutricional (Pereira et al., 2018; Santos et al., 2017). Entretanto, apesar dessas espécies apresentarem alto conteúdo de proteína bruta (PB), a presença de TC em grandes quantidades pode limitar o acesso de micro-organismos aos nutrientes (Kandil et al., 2023). Complexos formados entre taninos-proteína (CTP) no rúmen, diminuem a atividade das desaminases microbianas, reduzem as concentrações de N-NH_3 ruminal e N-ureico no plasma, diminuem a excreção urinária de N e aumentam o aporte de aminoácidos no ID (Johnson et al., 2015; Vasta et al., 2019). Suplementação de novilhos Holandeses com *A. mearsnii* (9-17 g/kg MS) aumentaram o fluxo de aminoácidos no duodeno em até 30%, em relação a dieta controle (Orlandi et al., 2015).

Ensaios *in situ*, avaliando a degradabilidade ruminal da proteína em dietas com forragens ricas em taninos indicaram aumento do lag time e redução na taxa de degradação ruminal (Kd) da fração B e na proteína degradada no rúmen com o aumento das concentrações de TC de 0 a 2,77% da MS da dieta (Coblentz e Grabber, 2013). Cordeiros alimentados com *O. viciifolia* (31,2 g TC/kg MS) em comparação com *M. sativa* (2,1 g TC/kg MS) e *L. corniculatus* (13,7 g TC/kg MS), apresentaram diminuição na concentração de N-NH3 e mudança no local de digestão de proteínas (Lagrange e Villalba, 2019).

Aguerre et al. (2016) estudaram a adição de extrato de tanino (quebracho ou castanha) nas concentrações de 0, 0,45, 0,90 ou 1,80% na matéria seca (MS) da dieta para vacas em lactação e, observaram redução na PDR, no N-NH_3 (11,3 para 8,8 mg/dL) e na excreção de N urinário. Tseu et al. (2020) relataram diminuição na excreção de ureia urinária com a adição de até 2,25% de extrato comercial de taninos de *A. mearsnii* na MS da dieta em vacas nelore. A diminuição da degradação ruminal da PB é um dado importante, pois quando o N excede a exigência microbiana no rúmen é absorvido na forma de NH_3, precisando ser metabolizado no fígado a ureia e, só depois reciclado ou excretado na urina. Assim, altas taxas de degradação da PB no rúmen aumentam a excreção de N na urina, com impacto negativo no meio ambiente (Caldas et al., 2021; van Cleef et al., 2022) e, diminuição na eficiência produtiva e reprodutiva devido ao gasto energético para síntese hepática e excreção renal da ureia.

A utilização de extrato aquoso de *P. juliflora* na concentração de 488 mg/dL melhorou a eficiência de síntese de PB microbiana em ovinos Santa Inês (Alves Júnior et al., 2017). Caldas et al. (2021), utilizando feno de *M. tenuiflora* como fonte de tanino (1,21 a 25,4 g/kg MS da dieta) para cordeiros em terminação, relataram maior retenção de N. Já Orlandi et al. (2020) utilizaram extrato taninífero de *A. mearsnii* na concentração de 10g/kg MS na dieta de ovinos Santa Inês e não encontram efeito no fluxo de proteína para o ID nem na excreção de N fecal e urinário. Os resultados parecem variar com a concentração e a composição das fontes de taninos na dieta, diminuindo linearmente a degradação da PB à medida que se eleva os teores de TC.

Taninos como estratégia na mitigação de gases de efeito estufa

A agropecuária enfrenta um dos maiores desafios globais para a produção de alimentos na atualidade. O aumento da demanda por proteína de origem animal com o crescimento da população mundial é estimado para 8,5 bilhões de pessoas em 2030 (UN, 2022). Aumenta a pressão sobre o setor pecuário, exigindo uma alta eficiência na utilização de recursos naturais e no controle de resíduos, em particular para mitigação de gases de efeito estufa, diminuindo os impactos ambientais. O Brasil é o 5º maior produtor de gases de efeito estufa no mundo, sendo 25% produzido pelo setor agrícola e desse total, 68% pela fermentação entérica e manejo de dejetos de animais ruminantes (SEEG, 2020).

A produção de metano no rúmen é um processo natural realizado pelas Archeas que utilizam H_2 para reduzir o CO_2 a CH_4 (Van Soest, 1994). A utilização de alimentos ricos em TC ou extratos de taninos na dieta, tem sido proposta como estratégia na mitigação de CH_4, reduzindo o impacto ambiental e as perdas de energia metabolizável (Roca-Fernandez et al., 2020). Estudos com espécies forrageiras ricas em taninos mostram diminuição na produção de CH_4, contudo alguns resultados são acompanhados de redução na produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) e na digestibilidade (Naumann et al., 2013). Ensaios *in vitro* demonstraram que *C. calothyrsus* e *A. nilótica* reduziram a população de archeas metanogênicas e a produção de CH_4 após 12h de incubação (Rira et al., 2022). Roca-Fernández et al. (2020), estudando a relação de leguminosas em associação a gramínea (50:50), observaram com base na matéria orgânica (MO) que a *L. cuneata* foi mais eficiente em reduzir a produção de metano (0,4 mgCH_4/ g MO), quando comparada a *M. sativa* (3,6 mg CH_4/ g MO), entretanto, também apresentou menor digestibilidade.

De fato, os mecanismos de inibição da metanogênese por TC ainda não são bem compreendidos, mas algumas hipóteses têm sido propostas como: a) ação direta

dos TC sobre as espécies metanogênicas, pela complexação de proteínas do glicocálix, membrana e parede celular e; b) ação indireta como privação de substrato (H_2), resultado da formação de complexos entre taninos e carboidratos da parede celular da planta, diminuindo a superfície de colonização ou, complexação com proteínas, inibindo a atividade de bactérias celulolíticas, fungos e protozoários interferindo nas relações simbióticas (Naumann et al., 2013; Naumann et al., 2017; Min et al., 2020; Wang et al., 2022). É importante ressaltar que, apesar da presença das archeas está intimamente relacionada a de protozoários no rúmen, nem sempre a redução na produção de CH_4 está associada diminuição de protozoários. Alguns taninos como os presentes na *A. hypogaea*, diminuem a população de archeas sem alterar a de protozoários (Perna Junior et al., 2020; Min et al., 2020).

A estrutura química dos taninos, número de grupos hidroxila, constituintes (procianidina e prodelfinidina) e peso molecular interferem na metanogênese (Goel e Makkar, 2012; Naumann et al., 2013). Taninos hidrolisáveis restringem diretamente a atividade das archeas, mas a ação da TC é variável (Naumann et al., 2017). Uma meta-análise realizada por Jayanegara et al. (2015), avaliando a ação de taninos na produção de CH_4, utilizou dados de 30 experimentos, *in vivo* e *in situ* e mostrou diminuição linear na produção de CH_4 com o aumento de taninos, independente da técnica utilizada.

A predição da produção entérica de CH_4 é muito importante para a estimativa do consumo de energia, melhoria na eficiência produtiva e diminuição de impactos ambientais. Equações têm sido desenvolvidas para predizer a produção de CH_4 e o impacto de constituintes alimentares na inibição da metanogênese (Naumann et al., 2015; Ricci et al., 2013). Santos e Rodrigues (2019) utilizaram um banco de dados de 11 experimentos realizados no Brasil com bovinos, avaliando a emissão de CH_4 em relação ao consumo de matéria seca (CMS) e composição das dietas pela técnica *in vivo* e concluíram que a equação descrita por Patra (2017) foi a que melhor ajustou em condições brasileiras, sendo CH_4 (MJ/dia) = -1.012 + 0.308 × CMS + 0.0404 × CMS^2 + 2.424 × CFDN − 0.29 × $CFDN^2$. Os autores ressaltaram a necessidade de maior número de informações e a categorização do banco de dados para bovinos de leite e corte, separadamente.

A inclusão de forragens ricas em TC na dieta de ruminantes também pode contribuir para o manejo adequado de dejetos (fezes e urina) na produção do esterco, ajudando na mitigação de CO_2, CH_4 e N_2O gerados na decomposição anaeróbica da matéria orgânica depositada no solo. Devido a capacidade de se ligarem as proteínas, os taninos diminuem a degradação microbiana da PB, melhorando o fluxo de aminoácidos para o ID e diminuem o N urinário, mais vulnerável a

produção de N_2O (Aguere et al., 2016). Os mesmos autores utilizando uma mistura de extrato de quebracho (*Schinopsis* spp.) e castanheira (*Castanea* spp.) como fonte de TC sobre a produção e qualidade do esterco de bovinos, sugeriram que estes compostos secundários podem reduzir a emissão de NH_3 no esterco, uma vez que o N urinário é mais vulnerável a perdas ambientais. Esta hipótese foi confirmada num estudo posterior onde foi observado reduções de 12 e 19% nas emissões de NH_3, respectivamente, usando urina e fezes dos animais que receberam taninos, incubadas *in vitro* com solo por 48h. A utilização de feno de *L. cuneata* (0, 50 e 100%) na dieta de bovinos de corte, como fonte de taninos também foi efetiva na mitigação de CO_2, CH_4 e N_2O (Van Cleef et al., 2022).

Atividade anti-helmíntica de taninos

Os nematoides gastrintestinais representam um dos principais problemas na produção de ruminantes em especial, criados em sistema de pastejo. As espécies *Haemonchus contortus* e *Trichostrongylus colubriformis* são os principais nematoides responsáveis por prejuízos econômicos que incluem, desde os custos com medicamentos, mortalidade e morbidade de animais, agravado pelo desenvolvimento de resistência a drogas sintéticas (Naumann et all., 2017). Estudos com TC têm sugerido que estes compostos possuem propriedades anti-helmínticas. Alterações estruturais foram observadas na cutícula de *H. contortus* adultos, principalmente na região cefálica, em contato com extrato de *A. mearsnii* (15 mg/dL) *in vitro* (Yoshihara et al., 2015). Resultados semelhantes foram obtidos por Kandil et al. (2023), utilizando o extrato de sementes de *M. sativa* sobre *H. contortus* adultos, *in vitro* na concentração de 300 µg/ml e, em ensaio *in vivo* diminuição da quantidade de ovos e melhora no status imunológico de ovelhas.

A primeira hipótese para explicar o efeito antiparasitário de TC é a ação direta sobre a cutícula das larvas infectantes e parasitas adultos, impedindo o desembainhamento, diminuindo a fecundidade das fêmeas e o acesso a nutrientes para o crescimento e, a segunda, sugere um aumento da resistência do hospedeiro, pela melhoria na utilização da proteína dietética e, consequente melhora na resposta imune dos animais (Calderón-Quintal et al., 2010).

O grande desafio é a heterogeneidade química e concentração dos TC nas plantas e seus extratos, bem como a bioatividade. TC compostos predominantemente por prodelfinidina apresentaram maior atividade anti-helmíntica quando comparados a TC com procianidinas sobre *H. contortus* e *T. colubriformis* (Quijada et al., 2015). Também há relatos de que nematoides gastrintestinais possam desenvolver

adaptações a dietas com TC. Calderón-Quintal et al. (2010) relataram que L3 obtidas de ovinos na região de Yucatán, Mexico, foram menos sensíveis aos extratos de taniníferos de *A. pennatula*, *L. latisiliquum*, *P. piscipula* e *L. leucocephala*, sugerindo que podem existir adaptações. Klongsiriwet et al. (2015) relataram melhoria na AH pelo efeito sinérgico sobre o desenvolvimento de L3 quando associou monómeros de flavonóides (quercitina e luteolina) e TC.

Efeitos de taninos sobre consumo e digestibilidade de nutrientes

Embora os estudos apontem para o uso estratégico de taninos com impactos positivos na produção e saúde de ruminantes, efeitos antinutricionais relacionados a redução do consumo voluntário, digestibilidade dos nutrientes e eficiência produtiva de animais consumindo quantidades maiores que 50 g/kg de MS, têm sido descritos (Vasta et al., 2019). Os principais mecanismos de ação antinutricional estão ligados a bioatividade dos taninos que, se ligam as proteínas salivares (prolina e histidina), ou diretamente a receptores de sabor, e causam sensação de adstringência, diminuindo a palatabilidade (Naumann et al., 2017), bem como a ação sobre os invólucros de células microbianas e inibição de suas enzimas, diminuindo a digestibilidade (Kelln et al., 2020). Contudo, diversos trabalhos não têm observado efeito negativo dos taninos no consumo e na digestibilidade, possivelmente em função do tipo de tanino, das concentrações utilizadas ou mesmo, da adaptação dos animais as dietas.

Perna Júnior et al. (2020), avaliando dietas contendo *A. mearsnii* (6 g/kg MS) para vacas Holandesas, não observaram diminuição do consumo e nem da digestibilidade dos nutrientes, assim como na dinâmica de fermentação ruminal. Tseu et al. (2020) também utilizando o extrato comercial de *A. mearsnii* (0,75, 1,5 e 2,25% na MS), não observaram impacto negativo no comportamento alimentar, consumo e digestibilidade da MS de vacas nelore, mas relataram diminuição na digestibilidade da PB. Já Aguerre et al. (2016), avaliando a adição de uma mistura de extrato de quebracho e castanha na dieta de vacas em lactação, relataram redução no CMS de 8,23% e na produção de leite. Fernandes et al. (2021) observaram aumento no consumo de matéria seca (CMS), no ganho de peso e qualidade de carne com a adição de feno de *M. tenuiflora* como fonte de taninos na concentração de 17 g/ kg MS (70% de TH e 30% TC) na dieta de ovinos.

Esses resultados sugerem que a resposta ruminante a suplementação com TC é muito variável e depende da estrutura desses compostos, do efeito associativo com componentes do alimento e interações com os micro-organismos. De forma geral, a literatura mostra que quando taninos são adicionados em pequenas

quantidades melhoram a eficiência produtiva de ruminantes. A maioria dos estudos são conduzidos *in vitro* ou *in vivo*, mas de curto prazo e, muitas vezes não é possível avaliar o impacto na adaptação de micro-organismos. A inter-relação com outros compostos secundários, como terpenos, saponinas e óleos essenciais, também precisa ser melhor investigada e, por fim, equações de predição de produção entérica e mitigação de CH4, tanto nível de proteína e fibra da dieta, índice de bioatividade dos TC, relação com outros compostos secundários e padronização do banco de dados são muito importantes.

Serviços ambientais

A inclusão de forragens com TC nas dietas de ruminantes pode vir a oferecer vários serviços ambientais. Por exemplo, esses compostos podem proteger as culturas forrageiras contra o ataque de pragas sem o uso de pesticidas. Pode também ser útil na diminuição de emissão de metano no rúmem ou nas fezes de ruminantes, através dos complexos estáveis com proteínas no rúmen ou nas fezes. Também poderá facilitar a manutenção de misturas de gramíneas menos palatáveis com leguminosas mais palatáveis no pastejo direto em que a inclusão de ecotipos de leguminosas com maior teor de TC poderá diminuir a sua palatabilidade face a gramínea.

Considerações Finais

A quantidade de tanino presente na forragem varia com a espécie, condições edafoclimáticas, fração da planta, entre outros. Esse fato complica a nossa compreensão dos taninos condensados no ambiente ruminal, mas também oferece diversas opções uteis no manejo das pastagens, bem como dos ruminantes. Leguminosas perenes de climas quentes áridos ou semiáridos de porte herbáceo tem a tendência de acumular maiores teores de taninos condensados, do que as plantas anuais ou arbóreas. Como tal, a manipulação da vegetação, especialmente as várias copas da planta, por exemplo num sistema silvopastoríl, pode vir a aumentar a produtividade, bem como saúde de espécies ruminantes adaptadas ao consumo de taninos condensados.

A resposta animal à suplementação com taninos condensados é muito variável e depende da estrutura desses compostos, do efeito associativo com outros componentes do alimento e interações com os micro-organismos no rúmen. È, portanto, imprescindível compreender de forma mais ampla possível o papel dos

taninos condensados nos ecossistemas ruminal para melhor aproveitar os seus efeitos benéficos na produção animal.

Referências

AGUERRE, M.J., CAPOZZOLO, M.C.; LENCIONI, P.; CABRAL, C.; WATTIAUX, M.A. Effect of quebracho-chestnut tannin extracts at 2 dietary crude protein levels on performance, rumen fermentation, and nitrogen partitioning in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v. 99, n. 6, p. 4476-4486. 2016.

AKULA, R.; RAVISHANKAR, G. A. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signaling & Behavior*. v. 6, n. 11, p. 1720-1731, 2011.

ALVES JÚNIOR, R.T.; SOUZA, E.J.O.; MELO, A.A.S.; SILVA, D.K.A.S.; TORRES, T.S.; PEREIRA, G.F.C.; SILVA, C.; SILVA, J.R. Mesquite extract as phytogenic additive to improve the nutrition of sheep. *Journal of Agricultural Science*, p.1916-9752. 2017.

BESHARATI, M.; MAGGIOLINO, A.; PALANGI, V.; KAYA, A.; JABBAR, M.; ESECELI, H.; DE PALO, P.; LORENZO, J.M. Tannin in Ruminant Nutrition: Review. *Molecules*, v. 27, n. 23, p. 8273, 2022.

BRYANT, J. P.; CHAPIN, F. S.; KLEIN, D. R. Carbon/nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory. *Oikos*, v. 40, n. 3, p. 357-368, 1983.

BUCCIONI, A.; PAUSELLI, M.; VITI, C.; MINIERI, S.; PALLARA, G.; ROSCINI, V.; RAPACCINI, S.; TRABALZA, M. M.; LUPI, P.; CONTE, G.; MELE, M. Milk fatty acid composition, rumen microbial population, and animal performances in response to diets rich in linoleic acid supplemented with chestnut or quebracho tannins in dairy ewes *Journal Dairy Science*, v. 98, p.1145–1156. 2015.

CALDAS, A. C.; PEREIRA FILHO, J.; MENEZES, D.; CAVALCANTE, I.; FERNANDES, J.; OLIVEIRA, J.; OLIVEIRA, R., MOURA, J. F.; BEZERRA, L., Tannins from *Mimosa tenuiflora* in the diet improves nutrient utilisation, animal performance, carcass traits and commercial cuts of lambs. *Animal Production Science*, v. 61, n. 13, p. 1373-1384, 2021.

CALDERÓN-QUINTAL, J.A; TORRES-ACOSTA, J.F.J; SANDOVAL-CASTRO, C.A.; ALONSO, M.A.; HOSTE, H; AGUILAR-CABALLERO, A. Adaptation of *Haemonchus contortus* to condensed tannins: can it be possible?. *Archivos de Medicina Veterinaria*, v.42, n.3, 2010, p.165-171.

CHAVES, N.; ESCUDERO, J. C.; GUTIERREZ-MERINO, C. Role of ecological variables in the seasonal variation of flavonoid content of *Cistus ladanifer* exudates. *Journal of Chemical Ecology*, v. 23, n. 3, p. 579–603, 1997.

COOPER, C. E.; NAUMANN, D. D.; LAMBERT, B. D.; MUIR, J. P.; KATTES, D. H. Legume protein precipitable phenolic and nutrient concentrations responses to defoliation and ontogeny. *Journal of Plant Interactions*, v. 9, n. 1, p. 468-477, 2014.

COBLENTZ, W. K.; GRABBER, J. H. In situ protein degradation of alfalfa and birdsfoot trefoil hays and silages as influenced by condensed tannin concentration. *Journal of Dairy Science*. v. 96, p 3120-3137, 2013.

DOURADO, A.C.P.; SÁ-NETO, R.J.; GUALBERTO, S.A.; CORRÊA, M.M. Herbivoria e características foliares em seis espécies de plantas da Caatinga do nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Biociências*. v.14, p.145-151, 2016.

FERNANDES, J.; PEREIRA FILHO, J.; MENEZES, D.; CALDAS, A. C.; CAVALCANTE, I.; OLIVEIRA, J.; OLIVEIRA, R.; SILVA JÚNIOR, J.; CÉZAR, M.; BEZERRA, L. Carcass and meat quality in lambs receiving natural tannins from *Mimosa tenuiflora* hay, *Small Ruminant Research*, v. 198, 2021.

FIERER, N.; SCHIMEL, J.P.; CATES, R.G.; ZOU, J. Influence of balsam poplar tannin fractions on carbon and nitrogen dynamics in Alaskan taiga floodplain soils. *Soil Biology Biochemistry*. v.33, p.1827–1839, 2001.

GOEL, G.; MAKKAR, H.P.S. Methane mitigation from ruminants using tannins and saponins. *Tropical Animal Health and Production*, v.44, n.4, p.729-739, 2012.

HAWRYLAK, B.; MATRASZEK, R.; SZYMANSKA, M. Response of lettuce (*Lactuca sativa* L.) to selenium in nutrient solution contaminated with nickel. *Vegetable Crops Research Bulletin*, v.67, p.63-70, 2007.

HENKE, A.; WESTREICHER-KRISTEN, E.; MOLKENTIN, J.; DICKHOEFER, U.; KNAPPSTEIN, K.; HASLER, M.; SUSENBETH, A. Effect of dietary quebracho tannin extract on milk fatty acid composition in cows. *Journal of Dairy Science*, v. 100, n. 8, p. 6229-6238, 2017.

HOFLAND-ZIJLSTRA, J.D.; BERENDSE, F. The effect of nutrient supply and light intensity on tannins and mycorrhizal colonisation in Dutch heathland ecosystems. *Plant Ecology*. v.201, p.66-675, 2009.

JACKSON, C.M.; ESNOUF, M.P.; WINZOR, D.J.; DUEWER, D.L. 2007. Defining and measuring biological activity: applying the principles of metrology. *Accreditation and Quality Assurance* 12:283-294.

JACOBSON, T.K.B.; GARCIA, J.; SANTOS, S.C.; DUARTE, J.B.; FARIAS, J.G; KLIEMANN, H.J. Influência de fatores edáficos na produção de fenóis totais e taninos de duas espécies de barbatimão (*Stryphnodendron* sp.). *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.35, p.163-169, 2005.

JAYANEGARA, A.; GOEL, G.; MAKKAR, H. P.S.; BECKER, K. Divergence between purified hydrolysable and condensed tannin effects on methane emission, rumen fermentation and microbial population *in vitro*. *Animal Feed Science and Technology*, v. 209, p. 60-68, 2015.

JAYANEGARA, A.; LEIBER, F.; KREUZER, M. Meta-analysis of the relationship between dietary tannin level and methane formation in ruminants from in vivo and in vitro experiments. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, v. 96, 2012, p. 365–375.

JOHNSON, N. F.; LEES, M. E.; KERLEY, M. S. AND NAUMANN, H. D. Effect of tannin-containing legume forages on crude protein degradation in vitro. *Journal of Animal Science*, v. 93(suppl. 2), p.97, 2015.

KANDIL, O.; SHALABY, H. A.; HENDAWY, S. H.; ABDELFATTAH, M. S.; SEDKY, D.; HASSAN, N. M.; EL NAMAKY, A. H.; ASHRY, H. M.; EL EZZ, N. M. A.; MAHMOUD, M. S.; MAHMOUD, A. A. In vitro and in vivo anthelmintic efficacy of condensed tannins extracted from the seeds of alfalfa (*Medicago sativa* L.) against *Haemonchus contortus* infection. *Iraqi Journal of Veterinary Sciences*, v. 37, n. 1, p. 229-237.2023.

KHARE, S.; SINGH, N.B.; SINGH, A.; HUSSAIN, I.; NIHARIKA, K.; YADAV, V.; BANO, C.; YADAV, R.K.; AMIST, N. Plant secondary metabolites synthesis and their regulations under biotic and abiotic constraints. *Journal of Plant Biology*. v.63, p.203-216, 2020.

KHANBABAEE K; VAN REE T. Tannins: Classification and definition. *Natural Products Reports*, v. 18, n. 6., p. 1-9, 2001.

KELLN, B.M.; PENNER, G.B.; ACHARYA, S.N.; MCALLISTER, T.A.; LARDNER, H.A. Impact of condensed tannin-containing legumes on ruminal fermentation, nutrition, and performance in ruminants: a review. Canadian Journal of Animal Science. v.101, n.2, p.210-22.2020.

KLONGSIRIWET, C.; QUIJADA, J.; WILLIAMS, A. R.; MUELLER-HARVEY, I.; WILLIAMSON, E. M.; HOSTE, H. Synergistic inhibition of haemonchus contortus exsheathment by lavonoid monomers and condensed tannins. *International Journal of Parasitology Drugs and Drug Resistance* v.5, p. 127-134. 2015.

KRUPA, Z.; BARANOWSKA, M.; ORZOL, D. Can anthocyanins be considered as heavy metal stress indicator in higher plants? *Acta Physiology Plant*, v.18, p.147-151, 1996.

LAGRANGE, S.; VILLALBA, J. J. Tannin-containing legumes and forage diversity influence foraging behavior, diet digestibility, and nitrogen excretion by lambs. *Journal Animal Science.* v.97, n. 9, p. 3994-4009. 2019.

MADRITCH, M.D.; LINDROTH, R.L. Condensed tannins increase nitrogen recovery by trees following insect defoliation. *New Phytologist*. v.208, p.410-420, 2015.

MAHACHI, L.N.; CHIKWANHA, O.C.; CHENAIMOYO L.F. KATIYATIYA, C.L.F.; MARUFU, M.C.; AREMU, A.O.; MAPIYE, C. Meat production, quality, and oxidative shelf-life of Haemonchus-parasitised and non-parasitised lambs fed incremental levels of sericea lespedeza substituted for lucerne. *Meat Science*, v.195, 2023.

MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*, Academic Press, London 1995; 889p.

MEZZOMO, R.; PAULINO, P. V. R.; DETMANN, E.; TEIXEIRA, C. R. V.; ALVES, L. C.; ASSUNÇÃO, R. N. Tannin on non-degradable digestible protein from proteic sources in cattle rumen. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. v. 37, n. 4, p. 389-395, 2015.

MIN, B.R.; SOLAIMAN, S.; WALDRIP, H. M.; PARKER, D.; TODD, R.W.; BRAUER, D. Dietary mitigation of enteric methane emissions from ruminants: A review of plant tannin mitigation options, *Animal Nutrition*, v. 6, n. 3, p.231-246.2020.

MIN, B.R; SOLAIMAN, S. Comparative aspects of plant tannins on digestive physiology, nutrition and microbial community changes in sheep and goats: A review. *Journal Animal Physiology Animal Nutrition*. v.102, n. 5, p.1181-1193, 2018.

NASCIMENTO, T.V.C.; OLIVEIRA, R.L.; MENEZES, D.R.; DE LUCENA, A.R.F.; QUEIROZ, M.A.Á.; LIMA, A.G.V.O.; RIBEIRO, R.D.X.; BEZERRA, L.R., Effects of condensed tannin-amended cassava silage blend diets on feeding behavior, digestibility, nitrogen balance, milk yield and milk composition in dairy goats, *Animal*, v. 15, n. 1, p. 100015, 2021.

NAUMANN H.D.; TEDESCHI L.O.; FONSECA M.A. Technical Note: Predicting ruminal methane inhibition by condensed tannins using nonlinear exponential decay regression analysis. Journal Animal Science, v.93(11), 2015, p. 5341-5. Erratum in: *Journal of Animal Science*. v. 94, n.2, p. 882.2016.

NAUMANN, H. D.; L. O. TEDESCHI; W. E. ZELLER; N. F. HUNTLEY. The role of condensed tannins in ruminant animal production: advances, limitations, and future directions. *Revista Brasileira de Zootecnia*. v.46, n.12, 2017, p. 929–949.

NAUMANN, H. D.; TEDESCHI, L. O.; MUIR, J. P.; LAMBERT, B. D.; KOTHMANN, M. M. Effect of molecular weight of condensed tannins from warm-season perennial legumes on ruminal methane production *in vitro*. *Biochemical Systematics and Ecology.* v. 50, p. 154-162, 2013.

NAUMANN, H.D.; HAGERMAN, A.E.; LAMBERT, B.D.; MUIR, J.P.; TEDESCHI, L.O.; KOTHMANN, M.M. Molecular weight and protein-precipitating ability of condensed tannins from warm-season perennial legumes. *Journal of Plant Interactions.* v. 9, p.212-219.2014.

NAUMANN, H.D.; SEPELA, R.; REZAIRE, A.; MASIH, S.; ZELLER, W.; REINHARDT, L.; ROBE, J.; SULLIVAN, M.; HAGERMAN, A. Relationships between structures of condensed tannins from

Texas legumes and methane production during *in vitro* rumen digestion. *Molecules.* v.23, n.2123, p.1-16.2018.

OLIVEIRA, O. F.; FERREIRA, R. L. C.; ALMEIDA, A. C. S.; SANTOS, M. V. F.; MUIR, J. P.; CUNHA, M. V.; LIRA, M. A. Season and rainfall gradiente effects on condensed tannin concentrations of woody rangeland species. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 10, n. 1, p. 165-169, 2015.

OLIVEIRA, O.F.; SANTOS, M.V.F.; MUIR, J.P.; CUNHA, M. C.; SOUZA, E.J.O.; TEDESCHI, L.O.; NAUMANN, H.D.; MELLO, A. C.; MEIRELES, M.S. Condensed tannins bioactivity and nutritional value of Bauhinia cheilantha (Bong) Steud. under sheep grazing and different forage allowances. *Biochemical Systematics and Ecology.* v.100, 2022.

ORLANDI, T.; POZO, C. A.; MEZZOMO, M. P.; KOZLOSKI, G. V. *Acacia mearnsii* tannin extract as a feed additive: impact on feed intake, digestibility and nitrogen excretion by sheep fed a tropical grass-based diet. *Ciência Rural.* v. 50, n. 9, 2020.

PAVARINI, D. P.; PAVARINI, S. P.; NIEHUES, M.; LOPES, N. P. Exogenous influences on plant secondary metabolite levels. *Animal Feed Science and Technology*, v. 176, n. 1-4, p. 5-16, 2012.

PATRA, A.K.; SAXENA, J. Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 91, n.1, p. 24-37, 2011.

PEREIRA, T. P.; MODESTO, E. C.; NEPOMUCENO, D. D.; OLIVEIRA, O. F.; FREITAS, R. S. X.; MUIR, J. P.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; ALMEIDA, J. C. C. Characterization and biological activity of condensed tannins from tropical forage legumes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v.53, n.9, 2018.

PERNA JUNIOR, F.; VÁSQUEZ, D. C. Z.; GARDINAL, R.; MEYER, P. M.; BERNDT, A.; FRIGUETTO, R. T. S.; DEMARCHI, J. J. A.; RODRIGUES, P. H. M., Short-term use of monensin and tannins as feed additives on digestibility and methanogenesis in cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia.* v. 49, 2020.

QUIJADA, J.; FRYGANAS, C.; ROPIAK, H. M.; RAMSAY, A.; MUELLER-HARVEY, I.; HOSTE, H. Anthelmintic activities against Haemonchus contortus or Trichostrongylus colubriformis from small ruminants are influenced by structural features of condensed tannins. *Journal of Agriculture and Food Chemistry.* v.63, 2015, p. 6346-6354.

RADUŠIENĖ, J.; KARPAVIČIENĖ, B.; STANIUS, Ž. Effect of external and internal factors on secondary metabolites accumulation in st. John's Worth. *Botanica Lithuanica*. v. 18, n. 2, p. 101-108, 2012.

RIRA, M.; MORGAVI, D.P.; POPOVA, M.; MAXIN, G.; DOREAU, M. Microbial colonisation of tannin-rich tropical plants: Interplay between degradability, methane production and tannin disappearance in the rumen. *Animal*, v.16, n.8, 100589, 2022.

RICCI, A.; OLEJARB, K. J.; PARPINELLOA, G. P.; KILMARTIN, P. A.; VERSARIA, A. Application of Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy in the Characterization of Tannins. *Applied Spectroscopy Reviews.* v. 50, n. 5, p. 407-442, 2015.

ROCA-FERNÁNDEZ, A. I.; DILLARD, S. L.; SODER, K.J. Ruminal fermentation and enteric methane production of legumes containing condensed tannins fed in continuous culture. *Journal of Dairy Science*. v. 103, n. 8, p. 7028-7038, 2020.

SANTOS, C. D. P.; RODRIGUES, J. P. P. Avaliação de equações de predição da emissão de metano entérico por bovinos em condições brasileiras. IV Seminário de Iniciação Científica – UNIFESSPA, 2019. Acesso em: 20 de jan de 2022. Disponível em: https://sic.unifesspa.edu.br/images/SIC2019/ORAL/61_CarlosDanielPereiradosSantos.pdf

SANTOS, K. C.; MAGALHÃES, A. L. R.; SILVA, D. K. A.; ARAÚJO, G. G. L.; FAGUNDES, G. M.; YBARRA, N. G.; ABDALLA, A. L. Nutritional potential of forage species found in Brazilian Semiarid region. *Livestock Science*. v. 195, n.1, p.118-124.2017.

SILVA, C. M. A.; COSTA, B. M. S.; SILVA, A. G.; SOUZA, E. B.; SILVA, M. V.; CORREIA, M. T. S.; SANTÂ´ANNA, S. A. P.; MENEZES, L. V. L. Antimicrobial activity of several Brazilian medicinal plants against phytopathogenic bacteria. *African Journal of Microbiology Research*. v. 10, n. 17, p. 578-583, 2016.

SEZMIS, G.; KAYA, A.; KAYA, H.; MACIT, M.; ERTEN, K.; PALANGI, V.; LACKNER, M. Comparison of black tea waste and legume roughages: Methane mitigation and rumen fermentation parameters. *Metabolites*. v.13, 731, 2023.

SEEG. SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. Disponível em: https://plataforma.seeg.eco.br/total_emission Acesso em 13 de Agosto de 2023.

SILVA, N.T.C.; SILVA, M.A.S.; NUNES, A.T.; FALCÃO, H.M. Effect of herbivory by goats on primary and secondary metabolism of *Cocos nucifera* L. (Arecaceae) in a semi-arid environment in Brazilian Northeast. *Journal of Environmental Analysis and Progress.* v.5, p.337-345, 2020.

SOUZA, R.T.A.; SILVA, D.K.A.; SANTOS, M.V.F.; NAUMANN, H.D.; MAGALHÃES, A.L.R.; ANDRADE, A.P. Association of edaphoclimatic characteristics and variability of condensed tannin content in species from Caatinga. *Revista Ciência Agronômica*. v.51, p. e20196611, 2020.

ORLANDI, T.; KOZLOSKI, G.V.; ALVES, T.P.; MESQUITA, F.R.; ÁVILA, S.C. Digestibility, ruminal fermentation and duodenal flux of amino acids in steers fed grass forage plus concentrate containing increasing levels of *Acacia mearnsii* tannin extract. *Animal Feed Science and Technology*. v.210, p.37-45, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Plant physiology*. 5. ed. Porto Alegre: Artemed, 2013. 954p.

TERRILL, T.H.; ROWAN, A.W.; DOUGLAS, G.B.; BARRY, T.N. Determination of extractable and bound condensed tannin concentration in forage plants, protein concentrate meals, and cereal grains. *Journal Science Food Agriculture. v.* 58, p. 321-329, 1992.

TSEU, J. R.; PERNA JUNIOR, F.; CARVALHO, R. F.; SENE, G. A.; TROPALDI, C. B.; PERES, A. H.; RODRIGUES, P. H.M. Effect of tannins and monensin on feeding behaviour, feed intake, digestive parameters and microbial efficiency of nellore cows. *Italian Journal of Animal Science*. v.19, n.1, p. 262-273.2020.

UN - United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022). World Population Prospects 2022: Summary of Results. Acesso em: 20 de jan. 2022. Disponível em:file:///C:/Users/Usuario/Desktop/Livro%20-%20Taninos/wpUN%20-%202022%20popula%C3%A7%C3%A3o%20mundial_summary_of_results.pdf

VAN CLEEF, F. O. S.; DUBEUX JR, J. C. B; NAUMANN, H. D.; SANTOS, E. R. S.; SOLLENBERGER, L. E.; VENDRAMINI, J. M. B.; MORENO, M. R.; CIRIACO, F. M.; DILORENZO, N. Methane emissions and δ13C composition from beef steers consuming increasing proportions of sericea lespedeza hay on bermudagrass hay diets, *Journal of Animal Science*, v. 99, n. 8, p. skab224. 2021.

VAN CLEEF, F. O. S; DUBEUX, J.C. B, CIRIACO, F.M.; HENRY, D. D.; RUIZ-MORENO, M.; JARAMILLO, D.M.; GARCIA, L.; SANTOS, E.R.S.; DiLORENZO, N.; VENDRAMINI, J. M. B.; NAUMANN, H. D.; SOLLENBERG, L. E. Inclusion of a tannin-rich legume in the diet of beef steers reduces greenhouse gas emissions from their excreta. *Scientific Reports,* v.12, n.14220, 2022.

VAN SOEST, P.J. *Nutritional Ecology of the Ruminant*, 2nd edn. Cornell University Press, Ithaca, NY. 1994. 476p.

VASTA, V.; M. DAGHIO; CAPPUCCI, A.; BUCCIONI, A.; SERRA, A.; VITI, C.; MELE, M. Invited review: Plant polyphenols and rumen microbiota responsible for fatty acid biohydrogenation, fiber digestion, and methane emission: Experimental evidence and methodological approaches. *Journal of Dairy Science*. v. 102, n 5, p. 3781-3804, 2019.

WANG, Z.; ZHAO, Y.; LAN, X.; HE, J.; WAN, F.; SHEN, W.; TANG, S.; ZHOU, C.; TAN, Z.; YANG, Y. Tannic acid supplementation in the diet of Holstein bulls: Impacts on production performance,

physiological and immunological characteristics, and ruminal microbiota. *Frontiers in Nutrition*, v. 9, p.1066074, 2022.

WAGHORN, G.C. E MCNABB, W.C. Consequences of plant phenolic compounds for productivity and health of ruminants. *Proceedings of the Nutrition Society*. v.62, p.383-392, 2003.

WAGHORN, G. Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production—Progress and challenges. *Animal Feed Science and Technology,* v.147, p.116-139, 2008.

WOLFE, R.M.; TERRILL, T.H; MUIR, J.P. Drying method and origin of standard affect condensed tannin (CT) concentrations in perennial herbaceous legumes using simplified butanol-HCL CT analysis. *Journal Science Food Agriculture,* v.88, p.1060-1067. 2008.

YOSHIHARA, E.; MINHO, A. P.; TABACOW, V. B. D.; CARDIM, S. T.; YAMAMURA, M. H. Ultrastructural changes in the *Haemonchus contortus* cuticle exposed to *Acacia mearnsii* extract. *Semina: Ciências Agrárias*. v.36, n.6, p.3763–3768. 2015.

17

Fixação de Nitrogenio em plantas forrageiras

Mario Andrade Lira Junior[1]
Mércia Virginia Ferreira dos Santos[2]
João Tiago Correia Oliveira[3]
Pâmella Thalita Souza Sena[4]
Williane Patrícia da Silva Diniz[5]

Introdução

Nitrogênio é dos macronutrientes mais requerido pelas plantas, principalmente por gramíneas e sua baixa disponibilidade irá implicar na redução do crescimento radicular, da taxa fotossintética e, consequentemente, da biomassa vegetal (DASHORA, 2011). Solos tropicais, dominantes no Brasil, costumam apresentar baixa disponibilidade deste nutriente, o que é uma das principais razões para a alta incidência de pastagens degradadas em conjunto com problemas de manejo (LIRA *et al.*, 2006; DAMIAN *et al.*, 2021).

[1] Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia. mario.alirajr@ufrpe.br.
[2] Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco. Bolsista do CNPq. mercia.vfsantos@ufrpe.br
[3] Universidade Federal do Agreste de Pernambuco. oliveirajtc@gmail.com
[4] Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pamellathalita@gmail.com
[5] Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco. Bolsista FACEPE. willianepsd@gmail.com

Uma solução potencial para esta deficiência em nitrogênio seria o uso de fertilizantes ricos neste nutriente. No entanto, estes fertilizantes têm eficiência relativamente baixa, e custo geralmente alto, nos pontos de vista ecológico e ambiental, e a combinação destes fatores faz com que seu uso seja geralmente insuficiente na vasta maioria do mundo tropical, e mesmo em muitos sistemas de produção de climas temperados (GUARESCHI *et al.*, 2019; KARIMI *et al.*, 2020; KEBEDE, 2021; GUIMARÃES *et al.*, 2022).

Este alto custo do fertilizante nitrogenado é derivado, principalmente da estabilidade química e física do N_2, devido à ligação trivalente entre seus dois átomos que leva a grande demanda energética para sua quebra, mesmo que este seja o principal componente da atmosfera. Assim, o processo Haber-Bosch de fixação industrial de N_2 na forma de NH_4 (e posterior transformação em outras fontes do nutriente de forma disponível para plantas) depende de gás natural em grande quantidade, o que resulta no já mencionado alto custo financeiro e ambiental destes fertilizantes (CANFIELD *et al.*, 2010; HAYASHI, 2022). Deve ser ressaltado, no entanto, que estes fertilizantes são, conjuntamente com avanços no melhoramento vegetal e no controle de pragas, doenças e ervas daninhas, um dos principais responsáveis pela antiga previsão de Malthus quanto à diferença entre o crescimento populacional e do suprimento de alimentos não ter sido confirmada (TREWAVAS, 2002).

Além destes pontos, uma das principais características do N é seu ciclo biogeoquímico muito intenso, que leva a altas possibilidades de perdas, tanto para a atmosfera quanto por lixiviação (HAYASHI, 2022). Ao mesmo tempo, um grande conjunto de micro-organismos diazotróficos (de diazo – dois nitrogênios e tróficos – se alimentam de) têm um complexo enzimático conhecido como nitrogenase que consegue reduzir o custo energético da transformação de N_2 em NH_3 e assim converter N atmosférico em formas utilizáveis primeiro por eles, e depois pelas plantas (SOUMARE *et al.*, 2020; HAYASHI, 2022; LADHA *et al.*, 2022).

Estes micro-organismos, predominantemente bactérias, mas também cianófitas (MAHMUD *et al.*, 2020; ZHANG *et al.*, 2021) ocorrem tanto em vida livre, quanto em associação com plantas (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006), sendo a mais conhecida e eficiente a entre rizóbio e leguminosas (GUIMARÃES *et al.*, 2022; JOVINO *et al.*, 2022; KOZIEŁ *et al.*, 2022; MAGUIRE *et al.*, 2022; MALUK *et al.*, 2022a; NOMBRE RODRÍGUEZ-NAVARRO *et al.*, 2022; OLIVEIRA *et al.*, 2022).

A contribuição da entrada de nitrogênio pela via biológica varia de acordo com a espécie, com a condição de cultivo da forragem e outras variáveis. Independente dessas variações, pastos com leguminosas, seja clima tropical ou temperado, são descritos como capazes de inserir no sistema de 50 a 280 kg de N $ha^{-1}ano^{-1}$ pela

fixação biológica (FBN) (DUBEUX *et al.*, 2017; JARAMILLO *et al.*, 2021). Além disso, o uso de leguminosa nos pastos impacta a qualidade da forragem pelo teor de proteína normalmente mais alto (GIANNOULIS *et al.*, 2022).

Desta forma, o presente capítulo objetiva apresentar as principais informações sobre a fixação de N em plantas forrageiras.

Como o N da leguminosa é incorporado no sistema?

A associação entre leguminosa e rizóbio é uma das simbioses melhor estudadas na natureza, e se inicia por uma troca de sinais bastante específica entre os parceiros da simbiose (LIRA JUNIOR *et al.*, 2015), seguida pela formação do nódulo, uma estrutura específica da planta, e em seguida a troca de carboidratos da planta (obtidos pela fotossíntese) por componentes orgânicos contendo o N fixado pela bactéria (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

Eventualmente este N é incorporado no tecido da leguminosa, e transferido para o sistema por diversos caminhos (Figura 1), ou seja, o animal pode ingerir diretamente a leguminosa, e posteriormente excretar, folhas da leguminosa que não foram consumidas podem cair e se decompor, o mesmo ocorrendo com raízes e nódulos ou pode ocorrer a transferência direta pelo sistema radicular da leguminosa para outras plantas, predominantemente gramíneas (THILAKARATHNA *et al.*, 2016; ISLAM & ADJESIWOR, 2018).

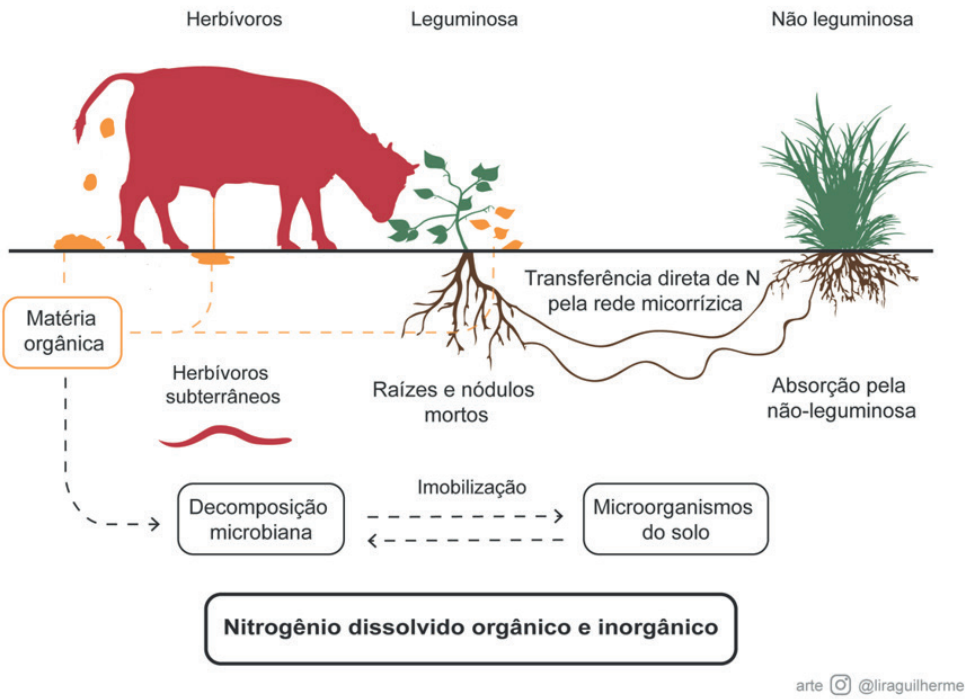

Figura 1. Principais meios de transferência do N fixado pela leguminosa para a pastagem.

Independentemente do mecanismo de transferência, modelagem simples (Figura 2) indica que geralmente pastagens com 25% de leguminosa com fixação estimada em 60 kg $N.ha^{-1}.ano^{-1}$, teriam capacidade de suporte de animais equivalente à adubação anual com 100 kg $N.ha^{-1}.ano^{-1}$ (LIRA *et al.*, 2006). Deve ser destacado que este valor é bastante comum em estimativas no campo (DUBEUX *et al.*, 2017; JARAMILLO *et al.*, 2021).

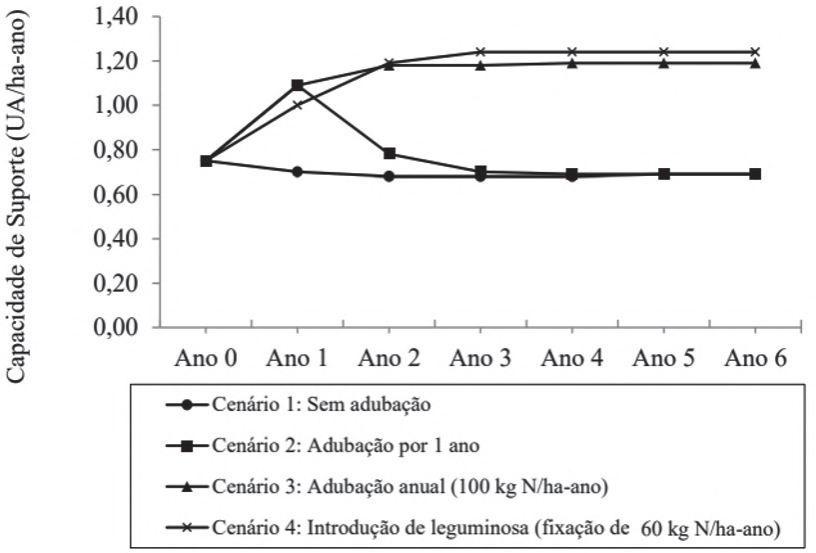

Figura 2. Capacidade de suporte de pastagem tropical fertilizadas com N ou com introdução de leguminosa fixando 60 kg $N.ha^{-1}.ano^{-1}$.

Fonte: LIRA et al. (2006).

Ao mesmo tempo pastagens consorciadas de leguminosas e gramíneas tem menor potencial de produção de gases de efeito estufa e menor custo financeiro após o estabelecimento. No entanto, costumam apresentar dificuldades de manejo sob condições tropicais, principalmente pela diferença na eficiência fotossintética entre as gramíneas C_4 e as leguminosas, combinada com a palatabilidade geralmente mais alta das leguminosas, o que torna a seleção de espécies adequadas bastante difícil (SOLLENBERGER & DUBEUX, 2022). Uma alternativa ao uso de leguminosas herbáceas é um sistema silvipastoril com leguminosa arbustivo-arbórea (LIRA *et al.*, 2017).

Outra possibilidade é o consórcio entre leguminosas e gramíneas de porte mais ereto como o Capim-elefante. Em avaliações de consorcio (Figura 3) de genótipos de Capim-elefante (*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone) de diferentes portes com a leguminosa Cunhã (*Clitoria ternatea* L.), observou-se maior estabilidade no acúmulo de forragem e incrementos nos teores de proteína bruta da gramínea forrageira (Silva et al., 2023).

Figura 3. Consorcio de Capim -elefante (*Cenchrus purpureus*) de diferentes portes com a leguminosa Cunhã (*Clitoria ternatea* L.).

Este problema, é um pouco menos prevalente em sistemas temperados ou subtropicais, mas mesmo nestes cenários, há diferenças de eficiência de crescimento entre leguminosas e gramíneas que demandam manejo cuidadoso para manutenção da leguminosa na pastagem (SANTOS *et al.*, 2018; YU *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2019; JARAMILLO *et al.*, 2021).

Condicionadores da fixação biológica de N por leguminosas

A FBN, como qualquer sistema biológico, é condicionada por grande número de variáveis, tanto biológicas quanto abióticas (KEBEDE, 2021). A proporção da leguminosa na pastagem é naturalmente muito importante. Por exemplo, Alfafa (*Medicago sativa* L.) fixou 109 kg $N.ha^{-1}$ em monocultivo, 116 kg $N.ha^{-1}$ em consórcio com *Elymus nutans* Griseb.)ou 53 kg $N.ha^{-1}$ se consórcio fosse com *Agropyron cristatum* (L.) Gaertn.)(YU et al., 2018).

Outro fator que deve ser levado em consideração é o potencial genético da leguminosa para FBN. Por exemplo, a comparação de sete cultivares de Amendoim forrageiro (*Arachis glabrata* Benth) determinou de 123 a 280 kg de N ha^{-1} ano^{-1} para Florigraze e UF Peace, respectivamente (DUBEUX *et al.*, 2017) ou de 62 a 93 kg N.ha^{-1}. ano^{-1} entre genótipos de *Desmanthus* spp. (Figura 4) (DINIZ, 2016).

Figura 4. Nodulação e sistema radicular de *Desmanthus* spp. cultivadas na Zona da Mata Seca de Pernambuco.

Além da proporção da leguminosa na pastagem e de seu potencial de fixação, o seu potencial produtivo também é de extrema importância na determinação de quanto N pode ser incorporado no sistema (SANTOS *et al.*, 2018). Por exemplo, duas leguminosas imaginárias diferentes podem contribuir a mesma quantidade de N ao sistema, o que permite ao produtor (e pesquisador) avaliar diferentes prioridades no seu sistema.

Leg1=10(% past)x80(%FBN) x 1000 kg.ha^{-1} (-1) (prod)=80 kg N. ha^{-1} (-1)

Leg2=10(%past)x40(%FBN) x 2000 kg.ha^{-1} (-1) (prod)=80 kg N. ha^{-1} (-1)

Em que %past é a participação da leguminosa na pastagem, %FBN é a proporção de N derivado da FBN e prod é a produtividade da leguminosa.

Outros fatores, por sua vez, podem afetar várias dessas características, particularmente condições ambientais, tanto bióticas, quanto abióticas. A primeira condição biótica é a intensidade de desfoliação e perda de pontos de crescimento em função do pastejo. Por exemplo, a FBN variou de 97 a 73 kg de N ha^{-1} com a variação de interceptação da luz de 90 a 100%, respectivamente, em pastos Capim-braquiarão (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) e Calopogônio (*Calopogonium muconoides* Desv.) (DEPABLOS *et al.*, 2021). Outro exemplo é o efeito da pressão de pastejo no Amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* cv. Belmonte), em que a altura de pastejo continuo variando de 5 a 20 cm, levou a maior FBN total nos manejos menos intensivos (CARVALHO *et al.*, 2019).

Além destes fatores, características ambientais como temperatura, acidez, alcalinidade ou salinidade do solo, deficiências ou toxidez de outro nutriente, déficit ou excesso hídrico, todos afetam a FBN, qualquer que seja a leguminosa (DEAK *et al.*, 2019; DOVRAT & SHEFFER, 2019; DEAK *et al.*, 2020; REIMER *et al.*, 2020; ROMANYÀ & CASALS, 2020; MARTINS DA COSTA *et al.*, 2021; BARCELOS *et al.*, 2022; ELLI *et al.*, 2022; MUONI *et al.*, 2022; ZHAO *et al.*, 2022). Embora a maioria destes efeitos seja limitante à FBN, mas também ao desenvolvimento da planta, a disponibilidade de N, seja por fertilização, seja por excretas, também é um limitante ao potencial de fixação de N no sistema (KRISTENSEN *et al.*, 2022).

Outro fator potencialmente importante na FBN é se a população rizobiana da área de cultivo é suficientemente grande para permitir a nodulação, quanto se é efetiva (SOUMARE *et al.*, 2020; MENDOZA-SUÁREZ *et al.*, 2021; BURGHARDT *et al.*, 2022; MALUK *et al.*, 2022b), particularmente em sistemas perenes.

Outras fontes biológicas de N atmosférico

A disponibilização de nitrogênio atmosférico para forrageiras não leguminosas não acontece apenas pela transferência do que fixado por rizóbios em associação com leguminosas, já que não leguminosas também podem ter contribuições importantes. Por exemplo, a inoculação de gramíneas como Capim-Coast-cross (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) com *Azospirillum brasilense* proporciona 54 kg de N ha^{-1}, apresentando relação direta entre a quantidade de N fixado e os cortes do manejo da pastagem, enquanto bactérias nativas, na ausência de inoculação permitem fixar 23 kg de N ha^{-1} (AGUIRRE *et al.*, 2020).

A inoculação com *A. brasilense* também apresenta potencial para FBN ou melhoria na eficiência da fertilização nitrogenada em braquiárias, particularmente

no seu estabelecimento (HUNGRIA *et al.*, 2016; LIMA *et al.*, 2020; HUNGRIA *et al.*, 2021; SANTOS *et al.*, 2021; GUIMARÃES *et al.*, 2022), mas com resultados promissores mesmo em pastagens já estabelecidas (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Assim como nas leguminosas, gramíneas também apresentam variação genética no seu potencial para FBN. Por exemplo, a comparação entre genótipos de Capim-Elefante (*Penisetum purpureum* Schum.) para FBN encontrou que Taiwan 146, Elefante B e IRI 381 fixaram entre 57 e 62% de todo o N da parte aérea, com variação ao longo do ano (MIRANDA, 2014).

Determinação da FBN

Um ponto essencial para avaliação deste serviço ecológico, é a avaliação de quanto N veio da atmosfera, visto que o N da planta vem, tanto do solo diretamente quanto potencialmente da FBN, e, portanto, sua simples determinação não é suficiente. Esta pode ser de forma indireta ou direta (UNKOVICH & BALDOCK, 2008; SHARMA *et al.*, 2019; LADHA *et al.*, 2022).

Os métodos indiretos tendem a ser mais simples, porém com menor potencial para diferenciar o N efetivamente derivado da atmosfera, daquele extraído diretamente do solo. No entanto, sua maior simplicidade e menor custo podem viabilizar uso quando outros métodos seriam inviáveis. (FONSECA-LÓPEZ *et al.*, 2019).

Alguns dos métodos indiretos são a determinação da matéria seca acumulada, com a presunção de que eventuais diferenças entre a acumulação por diferentes genótipos sejam função direta da eficiência na obtenção de N da atmosfera, o que pode ser válido sob condições em que a disponibilidade de N do solo seja muito baixa, seja naturalmente, seja por algum manejo experimental (BOHRER & HUNGRIA, 1998; LADHA *et al.*, 2022). Este é um método bastante utilizado em fases iniciais da pesquisa, basicamente em casa de vegetação ou outro ambiente controlado, através do uso de vasos de Leonard (SOMASEGARAN & HOBEN, 1994; SANTOS *et al.*, 2009).

Outro método muito tradicional, mas somente aplicável a leguminosas, é a determinação de número e massa dos nódulos, podendo incluir determinações derivadas como massa nodular específica ou avaliações da coloração de nódulos (VINCENT, 1970; SOMASEGARAN & HOBEN, 1994; MOREIRA & SIQUEIRA, 2006; PALMERO *et al.*, 2022).

Assim como métodos indiretos baseados na nodulação, alguns métodos diretos também são aplicáveis somente para leguminosas, particularmente a (CHALK *et al.*, 2017) determinação de N-ureídos, que são a forma de exportação de N do

nódulo para a parte aérea em algumas leguminosas tropicais, mas que não são formadas para nitrogênio absorvido do solo (PEOPLES & CRASWELL, 1992; KIBIDO *et al.*, 2020).

Por outro lado, outros métodos diretos são aplicáveis de forma mais geral, como por exemplo a avaliação da redução de acetileno pela nitrogenase. A nitrogenase é o complexo enzimático que ocorre em todos os diazotróficos, e além de reduzir N_2 a NH_3 também reduz outros gases como o acetileno (C_2H_2) a etileno (C_2H_4). Assim é possível estimar a atividade diretamente da enzima sob determinadas condições e indiretamente seu potencial de fixação. No entanto, esta técnica é uma determinação muito pontual no tempo, e por isso sofre limitações quando o objetivo é uma avaliação cumulativa do potencial de FBN de uma espécie ou manejo (VINCENT, 1970; SOMASEGARAN & HOBEN, 1994; LADHA *et al.*, 2022).

No entanto, o método considerado como mais eficiente para avaliação da contribuição acumulada da FBN é baseado na existência de dois isótopos do N, com diferentes ocorrências naturais, e no fato que a atividade da nitrogenase "favorece" o N^{14}, levando a uma redução proporcional do N_{15}, em relação à ocorrência na atmosfera (CHALK *et al.*, 2017; BRAUN *et al.*, 2018).

Existem três grandes variantes desta técnica (CHALK & SMITH, 2017). A primeira, e mais tradicional, é o método de diluição isotópica com N_{15}, em que o solo é artificialmente enriquecido pelo uso de fertilizante nitrogenado enriquecido neste isótopo. Assim, plantas que usem o N do fertilizante terão teores de N_{15} proporcionalmente mais altos do que a atmosfera, enquanto aquelas que contenham N atmosférico via FBN terão proporções de N_{15} mais próximas daquela da atmosfera (DOS SANTOS *et al.*, 2019).

A segunda variante é o uso da abundância natural de N_{15} na matéria orgânica do solo, que geralmente é um pouco superior à atmosférica. Neste caso, as plantas que incorporem N atmosférico também apresentarão relações isotópicas relativamente menores em N_{15} do que aquelas dependentes exclusivamente da matéria orgânica do solo como fonte de N. Em estudos da abundância natural do N_{15} em acessos de *Desmanthus* sp., Diniz (2016) utilizou como plantas referências a Jurubeba (*Solanum paniculatum*), Malva rasteira (*Pavonia cancellata*) e o Bredo (*Amaranthus viridis*), e observou que 36% do N utilizado pelos acessos de *Desmanthus* é derivado da atmosfera. Esta técnica evita os problemas do uso do fertilizante, como por exemplo a distribuição deste enriquecimento no solo menos homogênea, bem como o custo do fertilizante, mas por outro lado demandam equipamento mais preciso, em função das menores diferenças em relação às potencialmente obtidas com o fertilizante enriquecido (DE CARVALHO *et al.*, 2017).

A terceira variante, e a única que permite mensuração direta da FBN é o enriquecimento da atmosfera com N_2 enriquecido em N_{15}, e neste caso a planta fixadora terá um teor de N_{15} proporcionalmente superior ao da não-fixadora, diferentemente dos outros. Este método, no entanto, tem duas grandes limitações em relação aos demais. A primeira é seu custo muito alto em função do gás utilizado, e a segunda é a dificuldade de uso em condição de campo (ZHOU *et al.*, 2023).

Um ponto em comum para todas estas técnicas é a dependência absoluta do uso de uma planta controle não fixadora, que obtenha nitrogênio do solo de forma parecida com a planta sendo estudada, ou seja, que tenha demanda razoavelmente parecida e distribuição de raízes no espaço e no tempo também semelhantes, para poder determinar de forma confiável o enriquecimento de N de plantas que não utilizem o N atmosférico ao todo. Além disto, todos os métodos isotópicos dependem, naturalmente, do acesso a equipamento que possa determinar estes isótopos (CHALK *et al.*, 2017).

Considerações Finais

As duas principais causas da degradação de pastagens, costumam ser a deficiência nutricional, principalmente de N, e problemas de manejo. A fixação biológica de N por leguminosas, ou a melhor exploração do potencial de fixação pelas próprias gramíneas da pastagem, são uma alternativa para redução desta deficiência nutricional. No entanto, embora uma alternativa promissora, trazem dificuldades de manejo pela diferença de padrões de crescimento e consumo, que exigem atenção especial do produtor. Por outro lado, também melhoram a qualidade da forragem.

Referências

AGUIRRE, P. F.; GIACOMINI, S. J.; OLIVO, C. J.; BRATZ, V. F.; QUATRIN, M. P.; SCHAEFER, G. L. Biological nitrogen fixation and urea-N recovery in 'coastcross-1' pasture treated with azospirillum brasilense. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, 55, 2020.

BARCELOS, J. P. D. Q.; DE SOUZA, M.; NASCIMENTO, C. A. C. D.; ROSOLEM, C. A. Soil acidity amelioration improves N and C cycles in the short term in a system with soybean followed by maize-guinea grass intercropping. **Geoderma**, 421, 2022.

BOHRER, T. R. J.; HUNGRIA, M. Avaliação de cultivares de soja quanto à fixação biológica do nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 33, p. 946-952, 1998.

BRAUN, J.; MOOSHAMMER, M.; WANEK, W.; PROMMER, J.; WALKER, T. W. N.; RUTTING, T.; RICHTER, A. Full ^{15}N tracer accounting to revisit major assumptions of ^{15}N isotope pool dilution approaches for gross nitrogen mineralization. **Soil Biology & Biochemistry**, 117, p. 16-26, Feb 2018.

BURGHARDT, L. T.; EPSTEIN, B.; HOGE, M.; TRUJILLO, D. I.; TIFFIN, P. Host-Associated Rhizobial Fitness: Dependence on Nitrogen, Density, Community Complexity, and Legume Genotype. **Applied and Environmental Microbiology**, 88, n. 15, 2022.

CANFIELD, D. E.; GLAZER, A. N.; FALKOWSKI, P. G. The Evolution and Future of Earth's Nitrogen Cycle. **Science**, 330, n. 6001, p. 192-196, 2010.

CARVALHO, L. R.; PEREIRA, L. E. T.; HUNGRIA, M.; CAMARGO, P. B.; DA SILVA, S. C. Nodulation and biological nitrogen fixation (BNF) in forage peanut (Arachis pintoi) cv. Belmonte subjected to grazing regimes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 278, p. 96-106, 2019.

CHALK, P. M.; HE, J.-Z.; PEOPLES, M. B.; CHEN, D. $^{15}N_2$ as a tracer of biological N_2 fixation: A 75-year retrospective. **Soil Biology and Biochemistry**, 106, p. 36-50, 2017.

CHALK, P. M.; SMITH, C. J. ^{15}N methodologies for estimating the transfer of N from legumes to non-legumes in crop sequences. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 107, n. 3, p. 279-301, 2017.

DAMIAN, J. M.; DA SILVA MATOS, E.; E PEDREIRA, B. C.; DE FACCIO CARVALHO, P. C.; DE SOUZA, A. J.; ANDREOTE, F. D.; PREMAZZI, L. M.; CERRI, C. E. P. Pastureland intensification and diversification in Brazil mediate soil bacterial community structure changes and soil C accumulation. **Applied Soil Ecology**, 160, p. 103858, 2021/04/01/ 2021.

DASHORA, K. Nitrogen Yielding Plants: The Pioneers of Agriculture with a Multipurpose. **Journal of Agronomy**, 4, n. 2, p. 34-37, 2011.

DE CARVALHO, E. X.; MENEZES, R. S. C.; DE FREITAS, A. D. S.; SAMPAIO, E. V. S. B.; NETO, D. E. S.; TABOSA, J. N.; PRIMO, D. C.; DE QUEIROZ, R. O. The ^{15}N natural abundance technique to assess the potential of biological nitrogen fixation (BNF) in some important C_4 grasses. **Australian Journal of Crop Science**, 11, n. 12, p. 1559-1564, 2017.

DEAK, E. A.; MARTIN, T. N.; FIPKE, G. M.; STECCA, J. D. L.; DOS SANTOS CUNHA, V. Soil humidity as a productive conditioner of soybean culture through inoculation, co-inoculation and rooting. **Australian Journal of Crop Science**, 14, n. 6, p. 932-939, 2020.

DEAK, E. A.; MARTIN, T. N.; FIPKE, G. M.; STECCA, J. D. L.; TABALDI, L. A.; NUNES, U. R.; WINCK, J. E. M.; GRANDO, L. F. T. Effects of soil temperature and moisture on biological nitrogen fixation in soybean crop. **Australian Journal of Crop Science**, 13, n. 8, p. 1327-1334, 2019.

DEPABLOS, L.; HOMEM, B. G. C.; FERREIRA, I. M.; BERNARDES, T. F.; BODDEY, R. M.; LARA, M. A. S.; CASAGRANDE, D. R. Nitrogen cycling in tropical grass-legume pastures managed under canopy light interception. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 121, n. 1, p. 51-67, 2021.

DINIZ, W. P. S. **Caracterização morfológica e nutricional de acessos de Desmanthus spp. submetidos a duas intensidades de corte**. 2016. 81 f. (MSc) - Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SANTOS, R. L.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, E. C. A.; TRIVELIN, P. C. O.; SANTOS FREIRE, M. B. G.; COSTA BEZERRA, P.; OLIVEIRA, R. I.; COSTA SANTOS, M. B. Changes in Biological Nitrogen Fixation and Natural-Abundance N Isotopes of Sugarcane Under Molybdenum Fertilization. **Sugar Tech**, 21, n. 6, p. 925-935, 2019.

DOVRAT, G.; SHEFFER, E. Symbiotic dinitrogen fixation is seasonal and strongly regulated in water-limited environments. **New Phytologist**, 221, n. 4, p. 1866-1877, Mar 2019.

DUBEUX, J. C. B.; BLOUNT, A. R. S.; MACKOWIAK, C.; SANTOS, E. R. S.; PEREIRA NETO, J. D.; RIVEROS, U.; GARCIA, L.; JARAMILLO, D. M.; RUIZ-MORENO, M. Biological N_2 fixation, belowground responses, and forage potential of rhizoma peanut cultivars. **Crop Science**, 57, n. 2, p. 1027-1038, 2017.

ELLI, E. F.; CIAMPITTI, I. A.; CASTELLANO, M. J.; PURCELL, L. C.; NAEVE, S.; GRASSINI, P.; LA MENZA, N. C.; MORO ROSSO, L.; DE BORJA REIS, A. F.; KOVÁCS, P.; ARCHONTOULIS, S. V. Climate Change and Management Impacts on Soybean N Fixation, Soil N Mineralization, N2O Emissions, and Seed Yield. **Frontiers in Plant Science**, 13, 2022.

FONSECA-LÓPEZ, D.; VIVAS-QUILA, N. J.; BALAGUERA-LÓPEZ, H. E. Técnicas aplicadas en la investigación agrícola para cuantificar la fijación de nitrógeno: una revisión sistemática. **Ciencia & Tecnología Agropecuaria**, 21, n. 1, p. 1-19, 2019.

GIANNOULIS, K. D.; BARTZIALIS, D.; SKOUFOGIANNI, E.; GINTSIOUDIS, I.; DANALATOS, N. G. Could a Legume–Switchgrass Sod-Seeding System Increase Forage Productivity? **Plants**, 11, n. 21, p. 2970-2970, 2022.

GUARESCHI, R. F.; BODDEY, R. M.; RODRIGUES ALVES, B. J.; SARKIS, L. F.; DOS REIS MARTINS, M.; JANTALIA, C. P.; PEÑA CABRIALES, J. J.; VERA NÚÑEZ, J. A.; URQUIAGA, S. Nitrogen, phosphorus and potassium balance in agriculture of Latin America and the Caribbean. **Terra Latinoamericana**, 37, n. 2, p. 105-119, 2019.

GUIMARÃES, G. S.; RONDINA, A. B. L.; SANTOS, M. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Pointing Out Opportunities to Increase Grassland Pastures Productivity via Microbial Inoculants:

Attending the Society's Demands for Meat Production with Sustainability. **Agronomy**, 12, n. 8, 2022.

HAYASHI, K. Nitrogen cycling and management focusing on the central role of soils: a review. **Soil Science and Plant Nutrition**, 68, n. 5-6, p. 514-525, 2022.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Inoculation of *Brachiaria* spp. with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: An environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 221, p. 125-131, 2016.

HUNGRIA, M.; RONDINA, A. B. L.; NUNES, A. L. P.; ARAUJO, R. S.; NOGUEIRA, M. A. Seed and leaf-spray inoculation of PGPR in brachiarias (*Urochloa* spp.) as an economic and environmental opportunity to improve plant growth, forage yield and nutrient status. **Plant and Soil**, 463, n. 1-2, p. 171-186, 2021/03/11 2021.

ISLAM, M. A.; ADJESIWOR, A. T. Nitrogen Fixation and Transfer in Agricultural Production Systems. **Nitrogen in Agriculture - Updates**, 2018.

JARAMILLO, D. M.; DUBEUX, J. C. B.; SOLLENBERGER, L.; MACKOWIAK, C.; VENDRAMINI, J. M. B.; DILORENZO, N.; QUEIROZ, L. M. D.; SANTOS, E. R. S.; GARCIA, L.; RUIZ-MORENO, M.; VAN SANTEN, E. Litter mass, deposition rate, and decomposition in nitrogen-fertilized or grass–legume grazing systems. **Crop Science**, 61, n. 3, p. 2176-2189, 2021.

JOVINO, R. S.; DA SILVA, T. R.; RODRIGUES, R. T.; DE SA CARVALHO, J. R.; CUNHA, J. B. A.; DE LIMA, L. M.; DOS SANTOS, R. C.; SANTOS, C.; RIBEIRO, P. R. A.; DE FREITAS, A. D. S.; MARTINS, L. M. V.; FERNANDES-JUNIOR, P. I. Elite Bradyrhizobium strains boost biological nitrogen fixation and peanut yield in tropical drylands. **Braz J Microbiol**, 53, n. 3, p. 1623-1632, Sep 2022.

KARIMI, R.; POGUE, S. J.; KRÖBEL, R.; BEAUCHEMIN, K. A.; SCHWINGHAMER, T.; HENRY JANZEN, H. An updated nitrogen budget for Canadian agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 304, 2020.

KEBEDE, E. Contribution, Utilization, and Improvement of Legumes-Driven Biological Nitrogen Fixation in Agricultural Systems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, 5, 2021.

KIBIDO, T.; KUNERT, K.; MAKGOPA, M.; GREVE, M.; VORSTER, J. Improvement of rhizobium-soybean symbiosis and nitrogen fixation under drought. **Food and Energy Security**, 9, n. 1, 2020.

KOZIEŁ, M.; KALITA, M.; JANCZAREK, M. Genetic diversity of microsymbionts nodulating Trifolium pratense in subpolar and temperate climate regions. **Scientific Reports**, 12, n. 1, 2022.

KRISTENSEN, R. K.; RASMUSSEN, J.; ERIKSEN, J. Biological N_2-fixation in grass-clover ley in response to N application in cattle slurry vs. mineral fertilizer. **Plant and Soil**, 471, n. 1-2, p. 629-641, 2022.

LADHA, J. K.; PEOPLES, M. B.; REDDY, P. M.; BISWAS, J. C.; BENNETT, A.; JAT, M. L.; KRUPNIK, T. J. Biological nitrogen fixation and prospects for ecological intensification in cereal-based cropping systems. **Field Crops Research**, 283, 2022.

LIMA, G. C. D.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; MOREIRA, A.; HEINRICHS, R.; SOARES FILHO, C. V. Yield, yield components and nutrients uptake in Zuri Guinea grass inoculated with plant growth-promoting bacteria. **International Journal for Innovation Education and Research**, 8, n. 4, p. 103-124, 2020.

LIRA JUNIOR, M. A.; NASCIMENTO, L. R. S.; FRACETTO, G. G. M. Legume-rhizobia signal exchange: Promiscuity and environmental effects. **Frontiers in Microbiology**, 6, n. SEP, 2015.

LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; LIRA JUNIOR, M. A.; MELLO, A. C. L. Sistemas de produção de forragem: alternativas para sustentabilidade da pecuária. Anais de Simpósios da 43ª Reunião Anual da SBZ - João Pessoa - PB**:** 405-423 p. 2006.

LIRA, M. D. A.; CARNEIRO, A.; MELLO, L. D.; VIEIRA, M.; VIRGINIA, M.; CARLOS, J.; DUBEUX, B.; DE, M. Produção animal em pastagens tropicais da América Latina. 25, 2017.

MAGUIRE, V. G.; RODRÍGUEZ, A. A.; EZQUIAGA, J. P.; SALAS, N.; GORTARI, M.; AYUB, N.; BOUILLY, P. J.; ROMERO, F. M.; GÁRRIZ, A.; RUIZ, O. A. Analysis of the contribution of Lotus corniculatus to soil carbon content in a rice-pasture rotation system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 340, 2022.

MAHMUD, K.; MAKAJU, S.; IBRAHIM, R.; MISSAOUI, A. Current progress in nitrogen fixing plants and microbiome research. **Plants**, 9, n. 1, 2020.

MALUK, M.; FERRANDO-MOLINA, F.; LOPEZ DEL EGIDO, L.; LANGARICA-FUENTES, A.; YOHANNES, G. G.; YOUNG, M. W.; MARTIN, P.; GANTLETT, R.; KENICER, G.; HAWES, C.; BEGG, G. S.; QUILLIAM, R. S.; SQUIRE, G. R.; YOUNG, J. P. W.; IANNETTA, P. P. M.; JAMES, E. K. Fields with no recent legume cultivation have sufficient nitrogen-fixing rhizobia for crops of faba bean (Vicia faba L.). **Plant and Soil**, 472, n. 1-2, p. 345-368, 2022a.

MALUK, M.; FERRANDO-MOLINA, F.; LOPEZ DEL EGIDO, L.; LANGARICA-FUENTES, A.; YOHANNES, G. G.; YOUNG, M. W.; MARTIN, P.; GANTLETT, R.; KENICER, G.; HAWES, C.; BEGG, G. S.; QUILLIAM, R. S.; SQUIRE, G. R.; YOUNG, J. P. W.; IANNETTA, P. P. M.; JAMES, E. K. Fields with no recent legume cultivation have sufficient nitrogen-fixing rhizobia for crops of faba bean (Vicia faba L.). **Plant and Soil**, 2022/01/20 2022b.

MARTINS DA COSTA, E.; LIMA, W.; ALMEIDA RIBEIRO, P. R.; SOUZA MOREIRA, F. M. Acid and high-temperature tolerant Bradyrhizobium spp. strains from Brazilian soils are able to promote Acacia mangium and Stizolobium aterrimum growth. **Symbiosis**, 83, n. 1, p. 65-78, 2021/01/01 2021.

MENDOZA-SUÁREZ, M.; ANDERSEN, S. U.; POOLE, P. S.; SÁNCHEZ-CAÑIZARES, C. Competition, Nodule Occupancy, and Persistence of Inoculant Strains: Key Factors in the Rhizobium-Legume Symbioses. **Frontiers in Plant Science**, 12, 2021.

MIRANDA, K. R. **Fixação biológica de Nitrogênio em genótipos de *Penissetum purpureum* Schum.** . 2014. 56 f. (MSc) - Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

MUONI, T.; JONSSON, M.; DUNCAN, A. J.; WATSON, C. A.; BERGKVIST, G.; BARNES, A. P.; ÖBORN, I. Effects of management practices on legume productivity in smallholder farming systems in sub-Saharan Africa. **Food and Energy Security**, 11, n. 2, 2022.

NOMBRE RODRÍGUEZ-NAVARRO, D.; LORITE, M. J.; TEMPRANO VERA, F. J.; CAMACHO, M. Selection and characterization of Spanish Trifolium-nodulating rhizobia for pasture inoculation. **Systematic and Applied Microbiology**, 45, n. 2, p. 126290, 2022/04/01/ 2022.

OLIVEIRA, D. P.; RUFINI, M.; MARTINS, F. A. D.; SILVA, J. S.; ARAGÃO, O. O. S.; SANTANA, M. J.; ANDRADE, M. J. B.; MOREIRA, F. M. S. Inoculation with *Rhizobium tropici* can totally replace N-fertilization in the recently released BRSMG Uai bean cultivar. **Acta Scientiarum.Agronomy**, 44, p. e52475, 2022.

OLIVEIRA, J. T. C.; PEREIRA, A. P. A.; SOUZA, A. J.; SILVA, G. T.; DINIZ, W. P. S.; FIGUEREDO, E. F.; KUKLINSKY-SOBRAL, J.; FREIRE, F. J. Plant growth-promoting mechanisms and genetic diversity of bacteria strains isolated from Brachiaria humidicola and Brachiaria decumbens. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 93, n. 4, p. e20191123, 2021.

PALMERO, F.; FERNANDEZ, J. A.; GARCIA, F. O.; HARO, R. J.; PRASAD, P. V. V.; SALVAGIOTTI, F.; CIAMPITTI, I. A. A quantitative review into the contributions of biological nitrogen fixation to agricultural systems by grain legumes. **European Journal of Agronomy**, 136, p. 126514, 2022/05/01/ 2022.

PEOPLES, M. B.; CRASWELL, E. T. Biological nitrogen fixation: Investments, expectations and actual contributions to agriculture. **Plant and Soil**, 141, n. 1-2, p. 13-39, 1992.

REIMER, M.; HARTMANN, T. E.; OELOFSE, M.; MAGID, J.; BÜNEMANN, E. K.; MÖLLER, K. Reliance on Biological Nitrogen Fixation Depletes Soil Phosphorus and Potassium Reserves. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 118, n. 3, p. 273-291, 2020.

ROMANYÀ, J.; CASALS, P. Biological Nitrogen Fixation Response to Soil Fertility Is Species-Dependent in Annual Legumes. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 20, n. 2, p. 546-556, 2020.

SANTOS, C. E. R. S.; BEZERRA, R. V.; FREITAS, A. D. S.; SEIDO, S. L.; MARTINS, L. M. V.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R. Modificação de vasos de Leonard com garrafas descartáveis tipo Pet. Comunicado Técnico. CNPAB, E.-. Seropédica: EMBRAPA-CNPAB. 124 2009.

SANTOS, E. R. S.; DUBEUX, J. C. B.; SOLLENBERGER, L. E.; BLOUNT, A. R. S.; MACKOWIAK, C.; DILORENZO, N.; JARAMILLO, D. M.; GARCIA, L.; PEREIRA, T. P.; RUIZ-MORENO, M. Herbage responses and biological N2 fixation of bahiagrass and rhizoma peanut monocultures compared with their binary mixtures. **Crop Science**, 58, n. 5, p. 2149-2163, 2018.

SANTOS, M. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Outstanding impact of Azospirillum brasilense strains Ab-V5 and Ab-V6 on the Brazilian agriculture: Lessons that farmers are receptive to adopt new microbial inoculants. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 45, 2021.

SHARMA, V.; SHARMA, S.; SHARMA, S.; KUMAR, V. Synergistic effect of bio-inoculants on yield, nodulation and nutrient uptake of chickpea (Cicer arietinum L) under rainfed conditions. **Journal of Plant Nutrition**, 42, n. 4, p. 374-383, 2019.

SOLLENBERGER, L. E.; DUBEUX, J. C. B., JR. Warm-climate, legume-grass forage mixtures versus grass-only swards: An ecosystem services comparison. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 51, 2022.

SOMASEGARAN, P.; HOBEN, H. J. **Handbook for Rhizobia. Methods in Legume- Rhizobium technology**. New York: Springer Verlag, 1994. 450 p.

SOUMARE, A.; DIEDHIOU, A. G.; THUITA, M.; HAFIDI, M.; OUHDOUCH, Y.; GOPALAKRISHNAN, S.; KOUISNI, L. Exploiting biological nitrogen fixation: A route towards a sustainable agriculture. **Plants**, 9, n. 8, p. 1-22, 2020.

THILAKARATHNA, M. S.; MCELROY, M. S.; CHAPAGAIN, T.; PAPADOPOULOS, Y. A.; RAIZADA, M. N. Belowground nitrogen transfer from legumes to non-legumes under managed herbaceous cropping systems. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, 36, n. 4, 2016.

TREWAVAS, A. Malthus foiled again and again. **Nature**, 418, p. 668-670, 2002.

UNKOVICH, M.; BALDOCK, J. Measurement of asymbiotic N2 fixation in Australian agriculture. **Soil Biology and Biochemistry**, 40, n. 12, p. 2915-2921, 2008.

VINCENT, J. M. Manual for the practical study of the root-nodule bacteria. Oxford: Blackwell Scientific: London 1970.

WANG, X. B.; HSU, C. M.; DUBEUX, J. C. B., JR.; MACKOWIAK, C.; BLOUNT, A.; HAN, X. G.; LIAO, H. L. Effects of rhizoma peanut cultivars (Arachis glabrata Benth.) on the soil bacterial diversity and predicted function in nitrogen fixation. **Ecology and Evolution**, 9, n. 22, p. 12676-12687, 2019.

YU, M.; TIAN, Y.; GAO, Q.; XU, X.; WEN, S.; FAN, Z.; LI, X.; GONG, J.; LIU, Y. Nonlinear response of lucerne (Medicago sativa) biomass and biological nitrogen fixation to different irrigations and sowing modes. **Applied Soil Ecology**, 125, p. 257-263, 2018.

ZHANG, J.; COOK, J.; NEARING, J. T.; ZHANG, J.; RAUDONIS, R.; GLICK, B. R.; LANGILLE, M. G. I.; CHENG, Z. Harnessing the plant microbiome to promote the growth of agricultural crops. **Microbiological Research**, 245, p. 126690, 2021/04/01/ 2021.

ZHAO, Y. Y.; JIANG, H. J.; XU, F. J.; ZHANG, W.; SUN, K.; XIE, X. G.; DAI, C. C. Soil Acidification Negatively Affects Arachis hypogeae L. Growth by Inhibiting Nodule Initiation and Nitrogen Fixation. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 22, n. 1, p. 571-584, 2022.

ZHOU, J.; FANG, Y.; ZHENG, M.; MA, J.; LI, D. Microbial controls on symbiotic and free-living N2 fixation in subtropical Pueraria lobata communities, southwest China. **Biogeochemistry**, 163, n. 1, p. 85-97, 2023.

18

Pastagens na alimentação de não ruminantes

Lilian Francisco Arantes de Souza[1]
Mércia Virginia Ferreira dos Santos[2]
Camilla Mendonça Silva[3]
Italvan Macedo Milfort[4]

Introdução

A demanda por produtos de origem animal oriundos de produção sustentável, com apelo ambiental e respeitando o bem-estar animal, tem sido uma exigência do mercado consumidor (Pletsch et al., 2019; Delsart et al., 2020). Os produtos gerados são carne com características organolépticas diferenciadas ou ovos com maior pigmentação, principalmente quando esses animais não ruminantes são criados com culturas agrícolas, utilizando pastagens e plantas forrageiras conservadas ou *in natura*. (Mugnai et al., 2014; Li et al., 2022).

[1] Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco;
[2] Departamento de Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Bolsista do CNPq;
[3] Professor substituto do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Apesar da grande utilização das pastagens na alimentação de ruminantes, a importância destas para animais não ruminantes não deve ser subestimada. Aves e suínos apresentam limitações na digestão do conteúdo fibroso dos alimentos, entretanto, criações alternativas com acesso à pastagem vêm ganhando espaço, principalmente em função de preocupações dos consumidores com o bem-estar animal (Delsart et al., 2020). Além disso, suínos, são onívoros, o que permite a esses animais aproveitarem diversas fontes alimentares (Rocha et al., 2016), como forragens, raízes, insetos, grãos, entre outros. Enquanto que equinos mesmo apresentando estômago simples tem grande capacidade de digestão de alimentos fibrosos no intestino grosso (Colombino et al., 2022).

Nesse sentido, o acesso à pastagem permite que equinos, aves e suínos sejam criados em ambientes com mais espaço, tenham acesso ao ar fresco e à luz solar direta (Figura 1), manifestem comportamentos naturais, além de contribuir com o atendimento de necessidades nutricionais e energéticas.

Para compreender melhor os efeitos da oferta de forragem, esse capítulo abordará conteúdos referentes aos tipos de criações de equinos, aves e suínos com acesso à pastagem, genótipos mais adaptados à criações ao ar livre, recomendações de espécies forrageiras mais adequadas para cada espécie, aspectos associados ao comportamento dos animais com acesso á piquetes, contribuição nutricional do pasto para o atendimento de exigências nutricionais dos animais, impacto do consumo de forragens sobre a qualidade de produtos de origem animal, além de desafios da criação com acesso aos pastos, como maior exposição à patógenos, predadores e outros animais.

Pastagens na alimentação das aves

No Brasil, a criação avícola com acesso à pastagem pode ser desenvolvida na produção de frangos ou galinhas caipira, produção de ovos e carne de frango orgânicos ou em algumas criações de subsistência (Geraldo et al., 2020). A produção de frangos caipiras é orientada pela Norma Técnica NBR 16389 “Produção, abate, processamento e identificação do frango caipira, colonial ou capoeira” (ABNT, 2015). Já a produção de ovos caipiras é orientada pela Norma Técnica 16437 “Produção, classificação e identificação do ovo caipira, colonial ou capoeira” (ABNT, 2016). Ainda, a produção de frangos e ovos orgânicos é regulamentada pela Instrução Normativa 46 e modificada pela Instrução Normativa 17 do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2011 e 2014), que dispõem sobre o regulamento técnico para os sistemas orgânicos de produção animal

e vegetal. Dessa forma, as aves criadas com acesso a pastagem apresentam melhores indicadores de saúde, bem-estar, qualidade da carne e dos ovos (Fanatico et al., 2007; Castellini et al., 2008; Sossidou et al., 2015). Nesse sentido, o uso de pasto na criação avícola vem sendo ampliado de forma a assegurar que as aves possam manifestar comportamentos naturais como forragear e ciscar, além de proporcionar alimentos que tragam atributos desejáveis à carne e aos ovos produzidos.

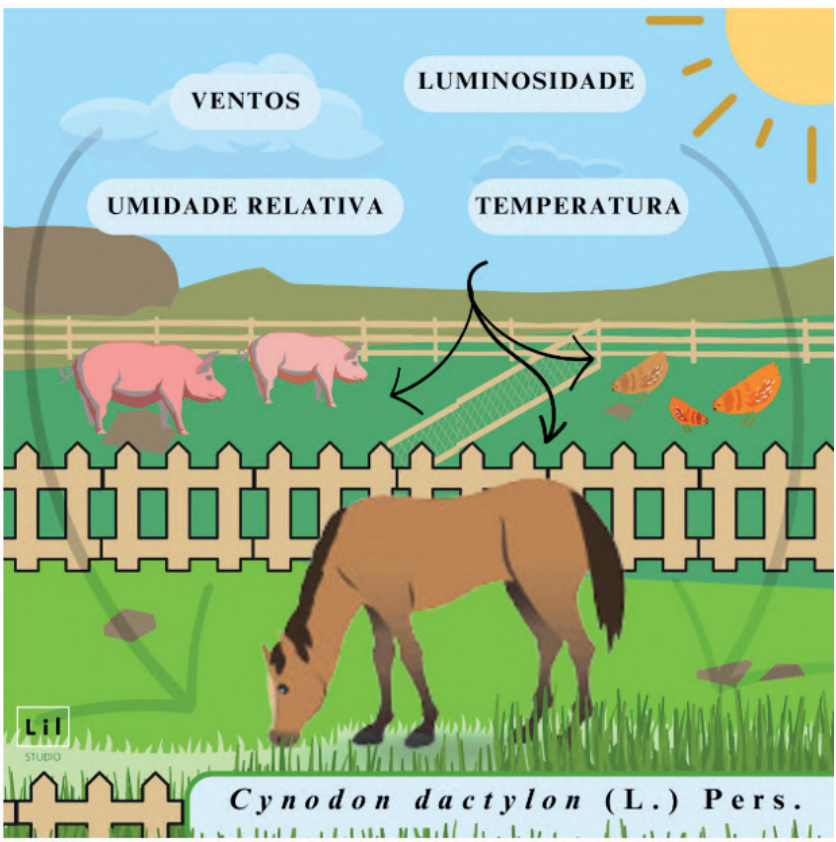

Figura 1. Fatores ecológicos que influenciam na produção vegetal e nos animais em pastejo.

No Brasil, tanto as normas da ABNT como as instruções normativas contemplam a presença de piquetes, entretanto, a cobertura vegetal dessas instalações não é abordada.

As áreas de pastagem podem ser compostas por plantas herbáceas nativas ou cultivadas. Guelber Sales (2014) recomenda a utilização de plantas forrageiras de baixo porte, com folhas finas e tenras, de boa palatabilidade e digestibilidade, preferencialmente estoloníferas com bom enraizamento e cobertura do solo, devido ao comportamento de ciscar e formar buracos, que danificam a pastagem. Entre as forrageiras mais utilizadas verifica-se pastagens formadas com plantas do gênero *Cynodon* spp., como Capim-estrela-africana, Capim-bermuda, Capim-oastcross e Capim-tifton, além de Grama batatais (*Paspalum notatum*), Hermatria (*Hermathria altissima*) e Amendoim-forrageiro (*Arachis pintoi*). Devendo ser a escolha conforme as condições edafoclimáticas prevalecentes no local de criação.

Cruz et al. (2017) utilizaram de Capim-quicuio (*Pennisetum clandestinum*) consorciado com Grama seda como fonte de pastejo para aves caipiras. Ludke et al. (2010) também recomendam pastagens do gênero *Cynodon* spp. (Capins Estrela africano normal e Roxo, Tifton, Capim-bermuda e Coastcross), Grama batatais, Capim-pangola (*Digitaria decumbens*) e Capim-quicuio, usadas sob lotação rotacionada. A recomendação é combinar essas pastagens com Amendoim forrageio, Hermatria e Estilosantes (*Stylosanthes* spp.) pode enriquecer o valor nutricional do pasto (Ludke et al., 2010).

França et al. (2014) avaliaram a criação de frangos caipiras em pastagens de três espécies forrageiras (Coastcross – *Cynodon* spp. cv. Coastcross-1, Capim-quicuio – *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex. Chov Estilosantes – *Stylosanthes capitata* e *Stylosanthes macrocephala*) com duas densidades diferentes (1 e 3 m^2/ave), observando que as espécies forrageiras foram adequadas para o pastejo das aves na densidade de 3m^2/ave, apesar de Estilosantes e Capim-quicuio apresentarem baixa massa de forragem, de folhas e altura de dossel ao final do período de avaliação (70 dias). Ainda nesta pesquisa, o pasto composto por Coastcross apresentou ao final do período experimental altura e massa de forragem adequados para um novo ciclo de pastejo em ambas as densidades avaliadas.

Além das espécies anteriormente citadas, também há relatos de utilização de variedades de *Uruchloa* spp. em piquetes para criação de aves (Pelícia et al., 2004; Tavares et al., 2015).

Apesar das diversas pesquisas relacionadas, pouco se conhece a respeito da seletividade ou preferências das aves por plantas forrageiras utilizadas como fonte de pastejo, sendo importante abordar mais os hábitos de pastejo de aves domésticas ao ar livre (Walker e Gordon, 2003). É importante destacar também que a alimentação das aves exclusivamente com pastagem pode ser desfavorecida em regiões de clima

semiárido, possivelmente devido aos longos períodos de estiagem hídrica (Cavalcanti, 2019), o que requer fornecimento de rações comerciais.

Em relação ao bem-estar, a grande vantagem da adoção de áreas de pastejo nos sistemas alternativos, é permitir que as aves manifestem comportamentos naturais e a redução da densidade de criação dentro do aviário (Lay et al., 2011). Entretanto, a utilização da área de pastejo pode variar muito e, dependendo das condições ambientais, podem ser pouco frequentadas pelas aves. Hughes & Dun (1983) observaram que áreas de pastejo periféricas raramente são frequentadas pelas aves. De acordo com Glatz & Ru (2001, 2002), aves caipiras forrageiam a distâncias de 30 a 40 metros do abrigo e são atraídas por insetos. Outro ponto interessante está relacionado a variações individuais de aves de um mesmo lote. Segundo Keeling et al. (1988), 15-22% das aves de um lote frequentavam a área de pastagem, mas com grande variação individual, já que alguns indivíduos nunca foram observados na área externa, enquanto outros passaram mais de 75% do tempo no ambiente externo. Nesse sentido, dispor a alimentação com ração na área externa pode ser uma estratégia para atrair as aves para o exterior do aviário (Grigor et al., 1995). De acordo com Hegelund et al. (2005), além da variação individual, fatores como o clima e tamanho do lote podem afetar a frequência das aves na área de pastejo. Assim, observa-se na Figura 2, que a frequência das aves na área externa é maior em temperatura ambiente entre 13 e 21°C, no outono e em lotes pequenos com menos de 1.000 aves. Por outro lado, a frequência é menor em condições de chuva ou neve, durante a primavera e em lotes com mais de 3.000 aves. O baixo acesso às áreas externas também pode ser atribuído ao número de buracos (Keeling et al., 1988), disponibilidade de cobertura (Grigor & Hughes 1993), ausência de áreas sombreadas (Glatz et al., 2010), condições de criação (Grigor et al., 1995) e genética das aves (Kjaer, 2000).

Disponibilizar área de cobertura nos piquetes, independente da cobertura vegetal, é uma estratégia que atrai as aves, já que fornece abrigo contra fatores climáticos ou predadores (Singh & Cowieson, 2013), fazendo com que as aves se sintam mais seguras. De acordo com Dal Bosco et al. (2014), a presença de árvores ou capim alto na pastagem das aves pode reduzir as perdas por predação e a presença de árvores estimula o consumo de forragem nos piquetes. Ainda, maior cobertura lenhosa na área ao ar livre parece estar relacionada ao menor risco de gripe aviária para as aves (Bestman et al., 2018). A utilização de enriquecimento ambiental nas pastagens também encoraja as aves a utilizarem o ambiente de forma mais ampla (Fanatico et al., 2016).

De acordo com Castellini et al. (2006), as aves aproveitam relativamente pouco de alimentos fibrosos, como pasto. De acordo com Walker & Gordon (2003), a contribuição do pasto para a nutrição de aves tem sido considerada irrelevante, sendo os pastos considerados principalmente por sua durabilidade e facilidade de manejo que por sua contribuição nutricional. As paredes das células vegetais são compostas principalmente por celulose, polissacarídeos não amiláceos, pectina e lignina. Os polissacarídeos não amiláceos estão associados a fatores antinutricionais que podem resultar em baixa digestibilidade dos nutrientes em aves (Choct et al., 1996; Leeson & Summers, 2001). Entretanto, aves criadas a pasto podem atender até 3% das exigências energéticas oriundas das forragens (Rivera-Ferre et al., 2007). Em revisão realizada por Tufarelli et al. (2018), as aves podem obter diversos nutrientes como vitaminas, minerais, ácidos graxos e aminoácidos de plantas forrageiras, contribuindo para atender exigências nutricionais e reduzir o consumo de ração. Estudos demonstram que aves são capazes de utilizar o cálcio presente nas forragens de forma tão eficiente quanto nos suplementos minerais utilizados em dietas comerciais (Horsted et al., 2006; Spencer, 2013; Tufarelli et al., 2018), além de utilizar aminoácidos contidos nas forragens (Buchanan et al., 2007).

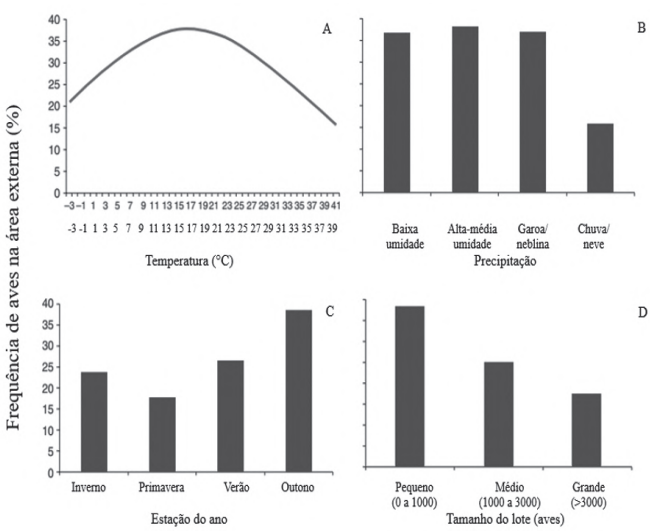

Figura 2. Efeito de fatores climáticos (Temperatura, A; Precipitação, B, Estação do ano, C) e tamanho do lote (D) sobre a frequência de aves na área externa.

Fonte: Adaptado de Hegelund et al. (2005).

Porém, diversos fatores antinutricionais presentes nessas forragens também podem prejudicar o desempenho das aves. Entretanto, é importante destacar que a contribuição do pastejo no atendimento de exigências nutricionais das aves pode variar consideravelmente em função da localização, época do ano, taxa de lotação, qualidade e utilização do piquete e do nível de produção (Bassler et al., 2000). Todavia, forragens de boa qualidade tem potencial para suprir proporção significativa das necessidades de nutrientes das aves (Blair, 2008). Estratégias que podem incrementar a contribuição nutricional do pasto são a utilização de enzimas exógenas, pastagens consorciadas e o acesso a pastos com leguminosas.

A inclusão de enzimas na ração de aves caipiras pode melhorar a eficiência de utilização de energia (Miao et al., 2005). Enzimas utilizadas na avicultura comercial que contribuem para melhorar o aproveitamento de alimentos fibrosos são xilanases, betaglucanases, pectinases, mananases e outras (Singh & Kim, 2021).

Oke et al. (2016) compararam aves criadas sem acesso à pastagem, com acesso a pastagem com Grama (*Cynodon dactylon*) e com acesso à pastagem de leguminosa (*Stylosanthes hamata*). Os autores concluíram que as galinhas mantidas em pastagem de leguminosas apresentaram maior produção de ovos que as galinhas mantidas em pastagem composta por Grama ou sem acesso à área externa. Já Oke et al. (2021), avaliaram o efeito do acesso de frangos de corte a pastos com diferentes leguminosas (*Stylosanthes hamata*, *Stylosanthes gauinensis* e *Mucuna pruriens*) e verificaram melhora do desempenho em comparação às aves sem acesso à área externa ou com acesso à área externa sem leguminosas, especialmente com *Stylosanthes hamata* e atribuem principalmente a contribuição nutricional e à presença de compostos bioativos benéficos.

Em relação ao consumo, de acordo com Hughes & Dun (1983), poedeiras podem consumir de 30 a 35 g de matéria seca por dia de forragem, além da alimentação *ad libitum* de concentrados. Entretanto, é difícil estimar a ingestão real de nutrientes, já que depende da composição da dieta, composição nutricional da planta forrageira ofertada, além de ervas daninhas e invertebrados disponíveis no piquete. Outro ponto que deve ser considerado, é que a restrição no fornecimento de nutrientes pode resultar em aumento do consumo de forragem em frangas (Fuller, 1962), que pode ter como consequência redução na ingestão de aminoácidos e efeito negativo na condição da plumagem devido à bicagem das penas (Ambrosen & Petersen, 1997; Elwinger et al., 2002). Eyles (1963) estimou que forragens frescas poderiam fornecer 5% e 10% do consumo diário de matéria seca de frangos de corte e aves em crescimento e postura, respectivamente. De acordo com Fanatico (1998), o acesso de frangos de corte ao pasto permite que as aves se alimentem de plantas,

sementes e invertebrado pode reduzir os custos associados à parte concentrada da dieta em 30%.

Os efeitos do acesso à área de pastagem sobre o desempenho das aves ainda são inconclusivos, uma vez que alguns autores mostram benefícios (Ponte et al., 2008; Santos et al., 2008), enquanto outros mostram pior desempenho (Ward et al., 2001; Castellini et al., 2002; Pavlovski et al., 2009). Tais inconsistências podem estar associadas aos tipos de plantas forrageiras utilizadas nas pastagens, fatores climáticos, genética das aves, composição nutricional do pasto, entre outros. Em relação à qualidade dos produtos alimentícios gerados pelas aves, o acesso à pastagem pode beneficiar a qualidade da carne, em função da presença de substâncias bioativas nas plantas, como xantofilas e compostos anticarcinogênicos e hipocolesterolêmicos (Ponte et al., 2004). As xantofilas são agentes pigmentantes naturais capazes de conferir coloração amarelada à gema do ovo e carcaça de frango. De acordo com Dal Bosco et al. (2016), a carne de frangos criados a pasto apresenta maiores níveis de ácidos graxos da família ômega 3, vitamina E e outros nutrientes. Em relação aos ovos, galinhas com acesso a pastagens de alta qualidade podem produzir ovos com maior teor de vitaminas A e E e ômega-3, em comparação com galinhas sem acesso a pastagens (Mugnai et al., 2009; Karsten et al., 2010; Anderson, 2011; Holt et al., 2011).

Um dos fatores associados ao desempenho de aves em criações com acesso á pastagem é o genótipo desses animais. Em países com clima tropical, linhagens comerciais geralmente são usadas em sistemas caipiras, visando melhorar o desempenho produtivo, entretanto esses genótipos tendem a ser menos tolerantes a altas temperaturas ambientais e apresentam menor resistência imunológica a doenças comuns, em comparação às raças nativas (Soleimani et al., 2011; Pahi, 2016).

Apesar dos benefícios da criação de aves com acesso a pastejo, alguns pontos devem receber atenção. El Jeni et al. (2021) apontam que a criação de aves com acesso ao ar livre aumenta a exposição das aves a predadores, patógenos e parasitas e sugerem intervenções com potencial para reduzir a exposição ou mitigar os danos ocasionados, como a rotação de pastagens, enriquecimento das áreas de pastejo com plantas aromáticas, como o Manjericão, além da utilização de aditivos fitogênicos nas dietas, já que oferecem algum potencial promissor para controlar alguns desses organismos patogênicos e parasitas

Por outro lado, é importante destacar que o consumo de pasto pode afetar o sistema digestório. O tamanho e a funcionalidade da moela podem variar em função do aumento da atividade de trituração e o aumento do teor de fibras da dieta afetará o tamanho do ceco e seu funcionamento (Clench & Mathias, 1995). Ainda, é possível que o acesso ao pasto afete o papo, que armazena os alimentos

(Svihus, 2012). O acesso à pastagem pode resultar em impactação no papo, moela ou proventrículo, devido ao consumo de longos pedaços de capim que se enrolam com outros componentes da dieta, podendo resultar em mortalidade em função de impedir a motilidade adequada do trato gastrintestinal. O problema pode ser evitado mantendo o pasto baixo (Huang et al., 2019) e com manejo adequado, atento a remoção de materiais velhos e fibrosos do pasto (Singh & Cowieson, 2013).

Outro fator importante que deve ser considerado é o efeito do consumo de pasto sobre o balanço eletrolítico da dieta. Borges et al. (2004) sugeriram que o balanço eletrolítico deve variar de 220 a 240 mEq/kg para frangos de corte durante o verão. O pasto contém altos níveis de potássio, resultando em aumento do balanço eletrolítico. Quando dietas corretamente formuladas são diluídas pela ingestão de capim, ocorre um incremento de aproximadamente 20 mEq/kg para cada aumento de 2% na porcentagem de grama na dieta (Singh et al., 2013). Tal aumento pode ser bastante prejudicial para aves em regiões de altas temperaturas ou durante os meses de verão, quando o balanço eletrolítico é importante para controlar a alcalose metabólica, causada pelo estresse por calor. Nesse sentido, os níveis de potássio devem ser corrigidos nas dietas, por meio da substituição de ingredientes, incluindo a utilização de produtos de origem animal.

Pastagens na alimentação dos equinos

Os equinos são denominados como animais não ruminantes de ceco e cólon funcionais (Chaucheyras-Durand et al., 2022), particularidade semelhante ao rúmen e retículo nos animais ruminantes, porém, com a grande diferença que nos equinos a maior parte da fermentação ocorre após o intestino delgado. Os produtos gerados na digestão desta porção do trato gastrointestinal irão fornecer energia através da produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), principalmente acetato, propionato e butirato, também descritos como ácidos graxos voláteis (AGV) (Harris et al., 2016).

Como animais herbívoros, os equinos dependem de material vegetal rico em fibra (volumoso) para o bom funcionamento do trato digestório. Em vida livre, o cavalo passa aproximadamente 16 horas pastejando, período caracterizado por interrupções máximas da alimentação de duas ou três horas (Bird, 2004; Cintra, 2010). Algumas pesquisas de comportamento ingestivo, demonstraram que equídeos podem pastejar áreas de Coast-cross (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) durante 11,6 horas (Zanine et al., 2009), evidenciando que alimentação desses animais deve ser baseada

na ingestão de plantas forrageiras (Harris et al., 2016), sendo o pasto como alimento natural do cavalo e uma pastagem de boa qualidade suficientes para atender as exigências nutricionais de animais das categorias menos exigentes, como os animais em mantença.

Apesar disso, existe uma tendência em reduzir a utilização de forragens em detrimento a utilização de alimentos concentrados nas dietas de cavalos atletas, com o intuito de melhorar o rendimento nos esportes (Borghi et al., 2017). Porém, essa estratégia tem sido relatada como uma das principais causas de aumento do risco de distúrbios gastrointestinais, uma vez que o alimento volumoso proporciona menor acidez do trato gastrointestinal, atuando para o bom funcionamento do intestino e bem estar mental do cavalo, reduzindo a incidência de úlceras gástricas (Ermers et al., 2023) Nesse sentido, embora ainda que negligenciada por muitos criadores e proprietários de cavalos, existe uma busca constante para encontrar o melhor capim para estes animais. Entretanto, deve-se entender que a escolha envolve muitas questões, sobretudo relacionadas à região em que os animais estão inseridos, especialmente em um país como o Brasil que apresenta grande variação nas condições edafoclimática entre as suas regiões. Diante disso, entende-se que a escolha das espécies forrageiras que serão utilizadas para a formação de pastagens para equinos começa pela adaptação às condições edafoclimáticas de cada região do país.

Cintra (2016) relata alguns requisitos básicos que norteiam a seleção de forrageiras para equinos, como: excelente seletividade por equinos, tolerar pisoteio, teor de proteína entre 80 e 110 g/kg de matéria seca (MS) e valores de fibra adequados para o bom trânsito intestinal. Ressalta-se que escolha da planta forrageira deve ser baseada na adaptabilidade geoclimática, seletividade, teor de proteína, teor de fibra total e teor de fibra insolúvel. Além disso, é extremamente importante levar em consideração o ponto de corte ou pastejo recomendado, visando a relação entre qualidade e produção do pasto (Harris et al., 2016).

Os equinos apresentam algumas particularidades em relação ao hábito de pastejo, como apreensão do alimento com os dentes incisivos, propiciando a colheita da forragem rente ao solo, além do pisoteio mais intenso por se alimentarem em movimento. Nesse sentido, espécies de porte mais baixo e maior relação folha:colmo são consideradas mais adequadas à alimentação dos equinos. Portanto, as espécies com hábito de crescimento estolonífero ou rizomatoso são mais recomendadas e menos associadas a erros de manejo, quando comparadas as cespitosas.

Existem diversas espécies de gramíneas e leguminosas que podem ser utilizadas para pastejo por equinos, como variedades de *Cynodon* sp. (Coast-cross,

Tifton, Florakirk, Jiggs, Vaquero, Grama estrela), *Panicum maximum* (Colonião, Tobiatã, Tanzânia, Mombaça, Aries, Aruana e Massai), *Pennisetum* sp. (Napier, Mineiro, Taiwann, Quicuio e Milheto), *Avena strigosa Schreb* (Aveia preta), *Lolium multiflorum* Lam (Azevém), *Chloris gayana* Kunth (Rhodes), *Zea mays* L. (Milho), *Sorghum vulgare* Pers (Sorgo), *Medicago sativa* L. (Alfafa), *Arachis pintoi* Krapovickas & Gregory var. Belmonte (Amendoim forrageiro) e *Stylosanthes* (Estilosante Campo Grande) (Cintra, 2016). Vale considerar ainda que para a escolha de espécie forrageira a ser utilizada para formação de pastagem para equinos, sempre que possível, recomenda-se evitar algumas *Brachiarias sp*., pois, em geral apresentam baixa seletividade (ex.: *Brachiaria decumbens* Stapf. syn. *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster, elevada presença de pelos) e algumas espécies podem conter elevado teor de oxalato de cálcio (ex.: *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick syn. *Urochloa humidicola* (Rendle) Schweick).

Para criações mais intensivas, as gramíneas do gênero *Cynodon sp*. (Figura 3A) estão entre as espécies forrageiras mais indicadas para formação de pastagens para equinos, com destaque para sua maior resistência ao pastejo e elevada qualidade. Porém, Grossman et al. (2021) ressaltam que existe grande variabilidade genética/ morfológica entre os táxons das Gramas-bermudas (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) e Estrela-roxa (*Cynodon nlemfluensis* Vanderyst).

Figura 3. A. Égua pastejando em piquete de *Cynodon sp*., Inhaúma – MG, 2013;B. Égua pastejando vegetação nativa no período de transição do período chuvoso para o período seco, São João do Cariri – PB, 2018.

Também existe diversas vegetações nativas que são pastejadas por equinos, como por exemplo áreas de Caatinga. Embora essa vegetação apresente baixa massa de forragem, sobretudo no estrato herbáceo, dependendo do tipo de caatinga e

época do ano, algumas espécies de gramíneas nativas compõem a dieta dos equinos (Figura 3B). As gramíneas constituem o principal componente na alimentação de cavalos selvagens, sendo 65% composta por gramíneas e sementes e o restante por espécies arbustivas (Fleurance et al., 2001).

Entre as leguminosas a alfafa (*Medicago sativa* L.) tem sido tradicionalmente utilizada na alimentação de cavalos, apresentando elevado valor nutritivo e podendo ser utilizada para pastejo ou conservada na forma de feno. Catalano et al. (2019) avaliaram o uso de alfafa cultivada em consórcio ou não com gramíneas, e observaram que a leguminosa em monocultivo apresentou teores de 278,3 g/kg de proteína bruta, 352 g/kg de FDN, 2,58 Mcal/kg de energia metabolizável, enquanto que o consorcio com gramíneas proporcionou caraterísticas nutricionais de 267 g/kg de proteína bruta, 403,8 g/kg de FDN, 2,51 Mcal/kg de energia metabolizável. Segundo as recomendações do NRC (2007) equinos em trabalho leve ou éguas adultas durante o início da gestação, tem uma exigência de 10,0% de PB, enquanto que éguas no terço final da gestação, éguas em lactação e potros em crescimento necessitam cerca de 11,5, 13,5 e 15% de PB, respectivamente.

O Amendoim forrageiro e o Estilosantes são nativos e bem adaptados a solos de baixa fertilidade, porém, deve-se avaliar a aceitabilidade do amendoim pelos equinos. O Estilosantes é uma boa fonte proteica, sobretudo nos períodos em que há redução na qualidade da forragem em função do déficit hídrico (Cintra, 2016). Ainda é possível o fornecimento de forragens conservadas, como feno. Ladeira et al. (2001) utilizaram feno de *S. guianensis* (Aubl.) Sw., colhido em estádio reprodutivo, quando mais da metade das plantas apresentavam inflorescências, nessas condições foram observados teores de 98,0 e 637,0 g/kg de proteína bruta e FDN, respectivamente.

Outro fator relevante é que equinos com alimentação exclusiva de volumoso demandam mais tempo de mastigação, em relação às dietas ricas em concentrados, desse modo uma menor relação volumosa:concentrado na dieta tende a produzir quantidades insuficientes de saliva, devido a menor mastigação do alimento (Ermers et al., 2023). Essas dietas pobres em fibras podem desencadear o desenvolvimento de comportamentos estereotipados, como a ingestão de cama ou fezes, na busca de fontes de fibra para o bom funcionamento do sistema digestório. Além disso, um baixo consumo de forragens aumenta o risco de distúrbios gastrointestinais como a síndrome cólica, que na maioria das vezes poderiam ser evitadas através de um melhor manejo nutricional. Jackson & Pagan (2002) recomendam o mínimo de 1% do peso vivo em fibra e evidenciam que quantidades maiores reduzem expressivamente a incidência de cólica. Portanto, aumentar a relação volumoso:concentrado e a frequência de alimentação, diminui o tempo de ócio e, consequentemente, o

desenvolvimento de distúrbios digestivos, como cólicas e úlceras gástricas, bem como alterações comportamentais (Moura et al., 2009).

No caso de animais mantidos em baias por longo período de tempo, o acesso a piquetes para pastejo é de grande importância nutricional e psíquica para o cavalo, sendo responsável por reduzir o estresse e, consequentemente, melhorar a condição de bem-estar desses animais, sobretudo se soltos na companhia de outros indivíduos para que haja interação (Zuluaga et al., 2018). Vale ressaltar que esse manejo é fundamental para diminuir e/ou evitar o surgimento de estereotipias, comportamento observado normalmente em animais com excesso de tempo estabulado (Canal Junior, 2015), associado a baixa proporção de volumoso na dieta.

As fibras longas presentes nas plantas forrageiras são fundamentais para a saúde do sistema digestório do cavalo, principalmente por facilitar o trânsito do alimento. Porém, ajustar o momento de colheita ou pastejo é fundamental, pois, pasto muito novo é mais tenro e pode provocar diarreia leve em função do baixo teor de fibras, já pastos em estágio mais avançado de maturidade podem causar desconforto digestivo, devido à aceleração do peristaltismo ou cólicas por compactação (Cintra, 2010). Nesse sentido, a prática de rotacionar os animais nos piquetes pode maximizar o uso da forragem, preservar a área e diminuir a contaminação por parasitas gastrintestinais.

Portanto, independente da região, a espécie forrageira escolhida para formar as pastagens destinadas à alimentação de equinos, deve ter seu manejo com o objetivo de atender as características específicas dos equinos. Neste sentido, realizar as práticas de manejo recomendadas para a espécie forrageira, desde a sua implantação até o momento do corte e/ou pastejo será um ponto decisivo para o sucesso da produção. Bem como, compreender que esses animais podem apresentar preferência por determinados tipos de plantas forrageiras, sendo interessante recomendar o cultivo e fornecimento de várias espécies de forrageiras.

Pastagens na alimentação dos suínos

O acesso a áreas de pastagem pode ser observado em criações de suínos orgânicos, no sistema intensivo de criação de suínos ao ar livre (SISCAL) e em criações de subsistência. Assim como para aves, a produção de suínos em sistema orgânico é regulamentada pela Instrução Normativa 46 e modificada pela Instrução Normativa 17 do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2011e 2014), prevendo o acesso dos suínos à área de pastagem. Já o SISCAL, se caracteriza pela manutenção de suínos nas fases

de reprodução, maternidade e creche em piquetes com boa cobertura vegetal e as fases de crescimento e terminação em confinamento (Dalla Costa, 1998). Inclusive, o SISCAL é recomendado para a produção de suínos orgânicos (Figueiredo & Soares, 2012).

Inicialmente, para a criação com acesso ao ar livre é necessária a utilização de animais adaptados às condições de pastagem, que devem apresentar características desejáveis como adaptação a temperaturas extremas, resistência a doenças, docilidade, habilidade materna e aptidão para forrageamento e pastejo (Pietrosemoli & Tang, 2020).

Tratando da pastagem propriamente dita, de acordo com Vicenzi (1996), áreas com campo nativo ou naturalizado ou com outro tipo de pasto perene já implantados devem ter sua vegetação mantida, já que geralmente são coberturas vegetais eficientes. Entretanto, para a implantação em áreas sem pastagem, são recomendadas gramíneas resistentes ao pisoteio, agressivas, rizomatosas ou estoloníferas e adaptadas às condições edafoclimáticas do local, com posterior enriquecimento com espécies de melhor qualidade, como leguminosas. Para a região Sul do Brasil, o autor recomenda Estrela roxa, Capim-quicuio, Grama missioneira, Grama jesuíta, Missioneira gigante, *Urochloa humidicola*, *Urochloa decumbens*, *Hemarthria altissima* e Tifton-85. Para o enriquecimento da pastagem, o autor recomenda lotação rotacionada com espécies de gramíneas de inverno e leguminosas, como Trevo, Cornichão, Maku, Alfafa, Aveia, Azevém, Centeio, Ervilhaca e Serradela.

Dalla Costa et al. (2002) apontam que as espécies forrageiras mais indicadas para o SISCAL sejam perenes, com boa adaptação ao local, estoloníferas ou rizomatosas, apresentem facilidade em se estabelecer e resistência ao pisoteio. Os autores sugerem diversas espécies, como gramíneas anuais de inverno (Aveia preta e Azevém), gramíneas perenes de inverno (Cevadilha e Festuca), leguminosas anuais de inverno (Ervilhaca), leguminosas perenes de inverno (Trevo branco, Trevo vermelho ou Roxo, Trevo vesiculoso e Cornichão), gramíneas anuais de verão (CapiM-italiano ou Milheto), gramíneas perenes de verão (Capim-andropogon, Capim-colonião, Capim-quicuio, Capim-elefante, Capim-rhodes, Capim-jaraguá, Capim-pangola, Capim-gordura, Grama-bermuda, *Urochloa humidícola*, *Urochloa decumbens*, Estrela africana, *Hermathria altíssima*, Grama missioneira, Grama jesuíta, Pensacola, e Setária) e leguminosas perenes de verão (Alfafa e *Lotus peduculatum* ou *uliginoso*). Na Figura 4, observa-se matrizes suínas da raça Yorkshire em piquete de Capim-bermuda. Por outro lado, Garcia (2001) não recomenda a utilização de espécies do gênero *Urochloa* por não serem apreciadas pelos suínos e por causarem ferimentos, quando velhas.

Independentemente da espécie forrageira utilizada na pastagem, é importante manter boa cobertura vegetal, uma vez que um dos grandes desafios da criação de suínos em sistemas ao ar livre é a poluição ambiental causada pela lixiviação de compostos presentes nas excretas dos animais (Worthington & Danks, 1992; Eriksen, 2001; Aubé et al., 2021). Assim, com a manutenção da cobertura vegetal, as plantas podem utilizar esses nutrientes, evitando que poluam o solo e a água. Entretanto, a manutenção da qualidade do pasto pode ser um desafio, já que é influenciada por múltiplos fatores.

Figura 4. Matrizes suínas em piquete de Capim-bermuda, Carolina do Norte (EUA).
Fonte: Pietrosemoli et al. (2020a).

Com o objetivo de determinar os efeitos das taxas de lotação de matrizes e marrãs sobre a cobertura vegetal do solo e as concentrações de nutrientes no solo em pastagens de Capim-bermuda (*Cynodon dactylon* L. Pers) rotacionadas, Pietrosemoli et al. (2020a) concluíram que aumentar a taxa de lotação de 10 para 25 matrizes/ha aumentou a concentração de amônia, nitrato, fósforo, zinco e cobre no solo e diminuiu a cobertura vegetal dos piquetes de 65 para 48%. Em outro trabalho, Pietrosemoli et al. (2020b) avaliaram o efeito de taxas de lotação de 37, 74, 111 e 148 suínos/ha em fase de crescimento e terminação sobre a cobertura vegetal e propriedades do solo de piquetes de Capim-bermuda em sistema de lotação contínua por dois períodos de 14 semanas e concluíram que a taxa de lotação de 37 suínos/ha resultou em maior cobertura do solo e menor concentração de nutrientes no solo. É importante

destacar que, essa taxa de lotação corresponde a aproximadamente 27 m^2 por suíno e que a legislação brasileira referente a criação de animais em sistemas orgânicos (BRASIL, 2011, 2014) prevê 10 e 20 m^2 por suíno entre 86 e 110 kg e 111 a 200 kg, respectivamente, evidenciando que em lotação contínua, tais densidades podem implicar em degradação da cobertura vegetal e do solo.

Outro fator que favorece a degradação da pastagem é o comportamento de fuçar dos suínos, associado ao tamanho dos cascos em relação ao peso corporal. Uma estratégia utilizada para reduzir danos à vegetação e ao solo causados pelo comportamento de fuçar é a utilização de argolas nasais. Entretanto, essa prática causa dor, inibe atividades funcionais e aumenta a frequência de comportamentos estereotipados, implicando em comprometimento do bem-estar dos animais (Barnett et al., 2001; Horrel et al., 2001). Outro fator que contribui para aumentar a frequência do comportamento de fuçar é a redução no nível de alimentação em suínos em crescimento (Jakobsen et al., 2015), provavelmente devido a uma maior motivação alimentar (Studnitz et al., 2007). Portanto, para preservar a qualidade do pasto, deve-se manter os animais bem alimentados com dietas que atendam suas exigências nutricionais. O uso de enriquecimento ambiental comestível, como silagem de capim (Edge et al., 2004) e fornecimento de tubérculos (Edge et al., 2005) representam alternativas que podem reduzir os impactos causados pelo comportamento de fuçar.

Uma das maneiras mais eficientes de preservar a cobertura vegetal das pastagens é a utilização do método de pastejo de lotação rotacionada (Vicenzi, 1996). Entretanto, pesquisas avaliando esse sistema para suínos ainda são escassos. Na Carolina do Norte, Pietrosemoli et al. (2020a) avaliaram um sistema de pastejo rotacionado para suínos, utilizando 9 piquetes com pastagem de Capim- bermuda, sendo um destinado a seção de serviço, contendo abrigo e bebedouros, com acesso permanente dos animais e os demais submetidos a lotação rotacionada (Figura 5). Cada piquete foi ocupado por 1 semana, totalizando 8 semanas em cada período de pastejo e 24 semanas de descanso entre cada período de pastejo. A taxa de lotação foi de 10, 15 e 25 matrizes/ha, em cada período de pastejo. Os autores relataram taxa de cobertura do solo de aproximadamente 73, 47 e 50% ao final de cada período de pastejo, sendo inferiores a 75% que seria o almejado. Dessa forma, concluíram que melhores práticas de manejo devem incluir adequadas taxas de lotação, utilização de estratégias de rotação ajustadas às taxas sazonais de crescimento dos pastos e períodos mais curtos de ocupação dos piquetes.

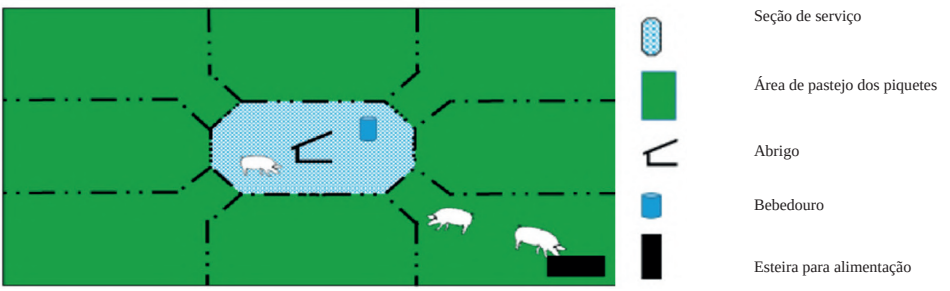

Figura 5. Esquema de sistema de lotação rotacionada para suínos.
Fonte: Adaptado de Pietrosemoli et al. (2020a).

Por outro lado, Leite et al. (2006) avaliaram a utilização de sistemas sob lotação contínua, alternado e rotativo em piquetes com densidade de 150, 75 e 37,5 m^2/suíno em fase de terminação, respectivamente, com pastagem de Trevo branco (*Trifolium repens* L.). No sistema alternado, os períodos de utilização e descanso foram de 15 dias cada e no sistema rotativo foram realizados 7 a 10 dias de pastejo com 28 a 30 dias de descanso. Os autores não identificaram diferenças significativas dos sistemas de pastejo sobre a disponibilidade de pasto, que apresentou média de 2400 kg de MS/ha. Os estudos demonstram a necessidade de pesquisas relacionadas aos sistemas de pastejo com diferentes espécies forrageiras, além de verificação das taxas de lotação mais adequadas para cada tipo de sistema.

O aumento da criação de suínos ao ar livre impulsionou o interesse na contribuição nutricional proveniente do pasto, que depende de diversos fatores (Edwards, 2003). De acordo com o autor, o sistema de pastejo utilizado pode influenciar a disponibilidade de forragem, que geralmente é baixa. Ainda, a composição da forragem varia muito conforme a variedade, estágio de desenvolvimento da planta e época do ano. De toda forma, a eficiência de utilização de energia e de nutrientes será reduzida pelo alto teor de fibra. A ingestão de forragem é bastante variável, sendo de aproximadamente 2,0 kg de MS/dia para matrizes secas alimentadas com concentrado restrito e 0,1 kg de MS/dia para suínos em crescimento alimentados com concentrado à vontade, contribuindo com 50% das necessidades energéticas de manutenção e proporção significativa da exigência de aminoácidos e minerais para matrizes secas e menos de 5% das necessidades de suínos em crescimento. Entretanto, é válido destacar que que suínos em pastejo apresentam maiores necessidades nutricionais em função de custos energéticos para termorregulação e atividade física (Pietrosemoli & Tang, 2020). Favorecer a contribuição nutricional do

pasto é relevante para a redução de custos nas criações ao ar livre e para favorecer o consumo de aminoácidos essenciais nas criações orgânicas, uma vez que a legislação brasileira para produtos orgânicos permite a utilização de aminoácidos sintéticos apenas para a prevenção de doenças carenciais que afetam a saúde e bem-estar animal, sendo o uso vedado para aumento de produtividade (BRASIL, 2011 e 2014). Jakobsen et al. (2015) investigaram o efeito de restrição de 48% no nível de proteína bruta da dieta em suínos em crescimento criados em sistemas orgânicos com pastagens de Azevém (*Lolium perene*) ou Alfafa (*Medicago sativa*) e concluíram que o forrageamento com Alfafa tem potencial para atender parcialmente as necessidades de proteína e lisina, uma vez que reduziu os impactos negativos da restrição proteica sobre o desempenho produtivo dos animais.

Assim como para as aves, a utilização de enzimas exógenas pode favorecer a digestão de componentes fibrosos para suínos (Park & Adeola, 2022), entretanto, o uso dessas enzimas em animais com acesso à pastagem ainda é pouco explorado.

Nos sistemas de criação ao ar livre, os suínos possuem mais espaço e diversidade ambiental que permitem a realização de atividade física e expressão de comportamentos como fuçar, chafurdar e forragear, além de diversidade alimentar e todos esses fatores interagem na determinação da resposta do animal em termos de crescimento e qualidade da carne (Lebret, 2008). A criação ao ar livre possibilita o aumento das concentrações de ácidos graxos poli-insaturados na gordura intramuscular e de vitamina E, em comparação com o confinamento (Nilzén et al., 2001; Lebret & Guillard, 2005), auxiliando no combate à oxidação lipídica excessiva e o desenvolvimento de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico durante o armazenamento da carne (Andres et al., 2001; Nilzen et al., 2001; Gonzalez & Tejeda, 2007). Outro fator interessante relacionado à qualidade da carne seria a resposta ao estresse pré-abate, sugerindo que a mistura de lotes é menos estressante para suínos criados ao ar livre, em comparação aos confinados. Terlouw et al. (2004) avaliaram respostas comportamentais e fisiológicas de suínos frente a mistura de lotes pré-abate em função da criação ao ar livre ou confinada e mostraram que suínos criados ao ar livre apresentaram menor frequência de comportamentos agressivos, em comparação aos confinados, resultando em menos danos à pele, maior nível de glicogênio muscular e menor pH da carne.

Em relação aos desafios da criação de suínos com acesso a pastos, a revisão realizada por Pietrosemoli & Tang (2020) apontam a exposição a temperaturas extremas, a maior exposição ao contato com animais selvagens e patógenos, principalmente parasitas, a maior vulnerabilidade a predadores, risco aumentado de desnutrição, mortalidade de leitões pré-desmame e a complexidade dos processos de

monitoramento, captura e tratamento de animais doentes e de limpeza e desinfecção de instalações e equipamentos.

Considerações finais

Aves, equinos e suínos apresentam limitações na digestão da fibra, entretanto, criações alternativas que utilizam plantas forrageiras e pastagens como parte da dieta dessas espécies tem ganhado espaço, principalmente em função de demandas dos consumidores, quanto ao bem-estar animal e produção sustentável.

Referências

Ambrosen, T.; Petersen, V.E. (1997). The influence of protein level in the diet on cannibalism and quality of plumage of layers. *Poultry Science*, 76, 559–563.

Anderson, K.E. (2011). Comparison of fatty acid, cholesterol, and vitamin A and E composition in eggs from hens housed in conventional cage and range production facilities. *Poultry Science*, 90, 1600–1608.

Andres, A. I.; Cava, R.; Mayoral, A. I.; Tejeda, J. F.; Morcuende, D.; Ruiz, J. (2001). Oxidative stability and fatty acid composition of pig muscles as affected by rearing system, crossbreeding and metabolic type of muscle fibre. *Meat Science*, 59, 39–47.

Andresen, N.; Redbo, I. (1999). Foraging behaviour of growing pigs on grassland in relation to stocking rate and feed crude protein level. *Applied Animal Behaviour Science*, 62, 183-197.

Associação Brasileira de Proteína Animal (2022). *Relatório anual 2022*. 144 p. Disponível em: https://abpa-br.org/relatorios/.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015). NBR 16389: *Avicultura - Produção, abate, processamento e identificação do frango caipira, colonial ou capoeira*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 16437: *Avicultura - Produção, classificação e identificação do ovo caipira, colonial ou capoeira*. Rio de Janeiro.

Aubé, L.; Guay, F.; Bergeron, R.; Théau, J.; Devillers, N. (2021). Foraging behaviour of gestating sows on pasture and damages to vegetation cover are influenced by restriction of concentrate feed. *Applied Animal Behaviour Science*, 237, 105299.

Barnett, J. L.; Hemsworth, P. H.; Cronin, G. M.; Jongman, E. C.; Hutson, G. D. (2001). A review of the welfare issues for sows and piglets in relation to housing. *Australian Journal of Agricultural Research*, 52, 1-28.

Bassler, A.; Ciszuk, P.; Sjelin, K. (2000). Management of laying hens in mobile houses – A review of experiences. Ecological animal husbandry in the Nordic countries. In 'NJF- Seminar No. 303. Tjele, Denmark. 16–17 September 1999'. pp. 45–50.

Bestman, M.; de Jong, W.; Wagenaar, J. P.; Weerts, T. (2018). Presence of avian influenza risk birds in and around poultry free-range areas in relation to range vegetation and openness of surrounding landscape. *Agroforestry Systems*, 92, 1001-1008.

Bird, J. (2004). Cuidado Natural del Caballo: Um enfoque natural para su óptimo estado de salud, desarrollo y rendimiento. 1ª Edição, ed. Acanto, 206p.

Blair, R. (2008). *Nutrition and feeding of organic poultry*. CABI.

Borges, S. A.; Fischer da Silva, A. V.; Majorka, A.; Hooge, D. M.; Cummings, K. R. (2004). Physiological responses of broiler chickens to heat stress and dietary electrolyte balance (sodium plus potassium minus chloride, milliequivalents per kilogram). *Poultry Science*, 83, 1551–1558.

Borghi, R. T.; Rodrigues, P. G.; Moura, R. S.; Almeida, L. S.; Fontes, G. C. S.; Fidêncio, C. F.; Souza, J. C. (2017). Digestibility of nutrients and digestive health in horses submitted to moderate exercise and supplemented with diets formulated with soybean hulls. *Journal* of Equine Veterinary Science, 59, 118–125.

Buchanan, N. P.; Hott, J. M.; Kimbler, L. B.; Moritz, J. S. (2007). Nutrient composition and digestibility of organic broiler diets and pasture forages. *Journal of Applied Poultry Research*, 16, 13-21.

Castellini, C.; Mugnai, C.; Dal-Bosco, A. (2002). Effect of organic production system on broiler carcass and meat quality. *Meat Science*, 60, 219–225.

Castellini, C.; Bastianoni, S.; Granai, C.; Dal Bosco, A.; Brunetti, M. (2006). Sustainability of poultry production using the emergy approach: Comparison of conventional and organic rearing systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 114, 343–350.

Castellini, C.; Berri, C.; Le Bihan-Duval, E.; Martino, G. (2008). Quality attributes and consumer perception of organic and free range poultry meat. *World's Poultry Science Journal*, 64, 500–512.

Catalano, D. N.; Sheaffer, C. C.; Grev, A. M.; DeBoer, M. L.; Martinson, K. L. (2019). Yield, Forage Nutritive Value, and Preference of Legumes under Horse Grazing. Crop Economics, Production, and Management, 111, 1312–1322.

Cavalcanti, F. A. V. R. (2019). Avicultura caipira: estudo de mercado para a cadeia da galinha caipira. Natal. SEBRAE/RN, 108p.

Canal Junior, A. (2015). Influência do tempo de estabulação no comportamento de equinos da raça crioula. *Unoesc & Ciência*, 6(2), 203- 210.

Cintra, A. G. (2016). Alimentação equina: nutrição, saúde e bem-estar. 1ª Edição, ed. Roca, 337p.

Cintra, A. G. de C. (2010). O CAVALO: Características, Manejo e Alimentação. 1ª Edição, ed. Roca, 364p.

Colombino, E.; Raspa, F.; Perotti, M.; Bergero, D.; Vervuert, I.; Valle, E.; Capucchio, M.T. (2022). Gut health of horses: effects of high fibre vs high starch diet on histological and morphometrical parameters. *BMC veterinary research*, 18(1), 338.

Chaucheyras-Durand, F.; Sacy, A.; Karges, K.; Apper, E. (2022). Gastro-intestinal microbiota in equines and its role in health and disease: The black box opens. *Microorganisms*, 19(12), 2517.

Choct, M.; Hughes, R. J.; Wang, J.; Bedford, M. R.; Morgan, A. J.; Annison, G. (1996). Increased small intestinal fermentation is partly responsible for the anti-nutritive activity of non-starch polysaccharides in chickens. *British poultry science*, 37, 609-621.

Clench, M. H.; Mathias, J. R. (1995). Motility responses to fasting in the gastrointestinal tract of three avian species. *The Condor*, 97, 1041–1047.

Cruz, F. L.; Espósito, M.; Nardelli, N. B.; Fassani, É. J.; Faria, P. B.; Esteves, C. (2017). Qualidade da carne de aves da raça Rodhe Island Red criadas em sistema alternativo. *Ciência Animal Brasileira*, 18, 1-16.

Dalla Costa, O. A. (1998). Sistema intensivo de suínos criados ao ar livre-SISCAL. Recomendações para instalação e manejo de bebedouros. *Embrapa Suínos e Aves-Recomendação Técnica (INFOTECA-E)*.

Dalla Costa, O. A.; Diesel, R.; Lopes, E. J. C.; Cunha Nunes, R.; Holdefer, C.; Colombo, S. (2002). Boletim Informativo – Pesquisa e Extensão (BIPERS). Embrapa Suínos e Aves e EMATER/RS. 67 p.

Dal Bosco, A.; Mugnai, C.; Rosati, A.; Paoletti, A.; Caporali, S.; Castellini, C. (2014). Effect of range enrichment on performance, behavior, and forage intake of free-range chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, 23, 137-145.

Dal Bosco, A.; Mugnai, C.; Mattioli, S.; Rosati, A.; Ruggeri, S.; Ranucci, D.; Castellini, C. (2016) Transfer of bioactive compounds from pasture to meat in organic free-range chickens. *Poultry Science*, 95, 2464–2471.

Delsart, M.; Pol, F.; Dufour, B.; Rose, N.; Fablet, C. (2020). Pig farming in alternative systems: strengths and challenges in terms of animal welfare, biosecurity, animal health and pork safety. *Agriculture*, 10(7), 261.

Edge, H. L.; Bornett, H. L. I.; Newton, E.; Edwards, S. A. (2004). Alternatives to nose-ringing in outdoor sows: 2. The provision of edible or inedible overground enrichment. *Animal Welfare*, 13, 233-237.

Edge, H. L.; Bulman, C. A.; Edwards, S. A. (2005). Alternatives to nose-ringing in outdoor sows: the provision of root crops. *Applied Animal Behaviour Science*, 92, 15-26.

Edwards, S. A. (2003). Intake of nutrients from pasture by pigs. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62, 257-265.

El Jeni, R.; Dittoe, D. K.; Olson, E. G.; Lourenco, J.; Seidel, D. S.; Ricke, S. C.; Callaway, T. R. (2021). An overview of health challenges in alternative poultry production systems. *Poultry Science*, 100, 101173.

Elwinger, K.; Tauson, R.; Tufvesson, M; Hartmann, C. (2002). *Feeding of layers kept in an organic feed environment*. In: 11th European Poultry Conference. Bremen, Germany.

Ermers, C.; McGilchrist, N.; Fenner, K.; Wilson, B.; McGreevy, P. (2023). The fibre requirements of horses and the consequences and causes of failure to meet them. *Animals*, 20(8):1414.

Eriksen, J. (2001). Implications of grazing by sows for nitrate leaching from grassland and the succeeding cereal crop. *Grass and Forage Science*, 56, 317-322.

Eyles, D. E. (1963). Non-ruminants. In 'Animal health, production and pasture'. pp. 359–383. Longmans: London.

Fanatico, A. C. (1998). *Sustainable chicken production: Livestock production guide*. Appropriate Technology Transfer for Rural Areas (ATTRA): Fayetteville, AR, USA.

Fanatico, A.C.; Pillai, P.B.; Emmert, J.L.; Owens, C.M. (2007). Meat quality of slow-and fast-growing chicken genotypes fed low-nutrient or standard diets and raised indoors or with outdoor access. *Poultry Science*, 86, 2245–2255.

Fanatico, A. C.; Mench, J. A.; Archer, G. S.; Liang, Y.; Gunsaulis, V. B.; Owens, C. M.; Donoghue, A. M. (2016). Effect of outdoor structural enrichments on the performance, use of range area, and behavior of organic meat chickens. *Poultry Science*, 95, 1980-1988.

Figueiredo, E. A. P.; Soares, J. P. G. (2012). Sistemas orgânicos de produção animal: dimensões técnicas e econômicas. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 49, Brasília. A produção animal no mundo em transformação: anais. Brasília, DF: SBZ.

Fleurance, G., Duncan, P., Mallevaud, B. (2001). Daily intake and the selection of feeding

França, L. C.; Lima, J. A.; Andrade Gimenes, F. M.; Savino, V. J. M.; Coelho, A. A. D.; Paz, C. C. P. (2014). Poultry performance in different grazing densities: forage characteristics, losses due to grazing and feed intake. *Semina: Ciências Agrárias*, 35, 939-950.

Fuller, H.L. (1962) Restricted feeding of pullets. 1. The value of pasture and self- selection of dietary components. *Poultry Science*, 41, 1729–1736.

Garcia, S. K. (2001). Sistema intensivo de criação de suínos ao ar livre no Estado de Minas Gerais-viabilidade técnica e econômica. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa, 122p.

Geraldo, A.; Valentim, J. K.; Zanella, J.; Mendes, J. P.; Silva, A. F.; Garcia, R. G.; Souza, E. B.; Carvalho, P. J. (2020). Perfil dos produtores e consumidores de carne de frango caipira na região do Alto São Francisco–MG. *Realização*, 7(14), 81-93.

Glatz, P. C.; Ru, Y. J. (2001). *Eco shelter housing of free-range poultry integrated into a pasture/crop rotation system in the wheat belt of Australia*. Proceedings of the 6th European Symposium on Poultry Welfare 2001 (Ed. H. Oester and C. Wyss). September 1-4, 2001. Zollikofen, Switzerland. pp. 299- 301.

Glatz, P. C.; Ru, Y. J. (2002). *Free-range poultry in a pasture/crop rotation system*. Proceedings 2002 Poultry Information Exchange 14-16 April 2002. Poultry Information Exchange Association Inc. Caboolture Queensland, Australia. pp. 7-10.

Glatz, P. C.; Rodda, B. K.; Rimmington, H.; Wyatt, S. C.; Miao, Z. H. (2010). *Attracting laying hens into range areas using shade and forage*. In 'Proceedings of the 21st Annual Australian Poultry Science Symposium. Sydney, 1–3 February 2010'. p. 135.

Grigor, P. N.; Hughes, B. O. (1993). Social inhibition of movement in free-range domestic fowl. *Applied Animal Behaviour Science*, 35, 297–298.

Grigor, P. N.; Hughes, B. O.; Appleby, M. C. (1995). Effects of regular handling and exposure to an outside area on subsequent fearfulness and dispersal in domestic hens. *Applied Animal Behaviour Science*, 44, 47–55.

Gonzalez, E.; Tejeda, J. F. (2007). Effects of dietary incorporation of different anti-oxidant extracts and free-range rearing on fatty acid composition and lipid oxidation of Iberian pig meat. *Animal*, 1, 1060–1067.

Grossman, A. Y.; Andrade, M. H. M.; Chaves, A. L. A.; Ferreira, M. T. M.; Techio, V. H.; Lopez, H.; Begcy, K.; Kenworthy, K. E.; Rios, E. F. (2021). Ploidy level and genetic parameters for phenotypic traits in bermudagrass (Cynodon spp.) germplasm. Agronomy, 11, 1–17.

Guelber Sales, M. N. (2014). *Criação de galinhas em sistemas agroecológicos*. Vitória-ES: Incaper.

Harris, P. A.; Ellis, A. D.; Fradinho, M. J.; Jansson, A.; Julliand, V.; Luthersson, N.; Vervuert, I. (2016). Review: Feeding conserved forage to horses: recent advances and recommendations. *Animal*, 11(06), 958–967.

Hegelund, L.; Sørensen, J. T.; Kjær, J. B.; Kristensen, I. S. (2005). Use of the range area in organic egg production systems: effect of climatic factors, flock size, age and artificial cover. *British Poultry Science*, 46, 1–8.

Holt, P.S.; Davies, R.H.; Dewulf, J.; Gast, R.K.; Huwe, J.K.; Jones, D.R.; Waltman, D.; Willian, K.R. (2011). The impact of different housing systems on egg safety and quality. *Poultry Science*, 90, 251–262.

Horrell, R. I.; A'Ness, P. J.; Edwards, S. A.; Eddison, J. C. (2001). The use of nose-rings in pigs: consequences for rooting, other functional activities, and welfare. *Animal Welfare*, 10, 3-22.

Horsted, K.; Hammersh, M.; Hermansen, J. E. (2006). Short-term effects on productivity and egg quality in nutrient-restricted versus non-restricted organic layers with access to different forage crops. *Acta Agriculturae Scand Section A*, 56, 42-54.

Huang, A. S.; Carvallo, F. R.; Pitesky, M. E.; Stoute, S.; Mete, A. (2019). Gastrointestinal impactions in backyard poultry. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 31, 368-370.

Hughes, B. O.; Dun, P. (1983). *A comparison of laying stock housed intensively in cages and outside on the range*. Years 1981-1983. Research and Development Publication No. 18. Ayr, West of Scotland Agricultural College.

Instrução Normativa n. 46, de 6 de outubro de 2011. (2011). Regulamento Técnico para os Sistemas Orgânicos de Produção Animal e Vegetal, de 18 de junho de 2014. Brasília, DF. Recuperado de https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/organicos/legislacao/portugues/instrucao-normativa-no-46-de-06-de-outubro-de-2011-producao-vegetal-e-animal-regulada-pela-in-17-2014.pdf/view.

Instrução Normativa n. 17, de 18 de junho de 2014. (2014). Altera o Regulamento Técnico para os Sistemas Orgânicos de Produção Animal e Vegetal, de 18 de junho de 2014. Brasília, DF. Recuperado de https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/organicos/legislacao/portugues/instrucao-normativa-no-17-de-18-de-junho-de-2014.pdf/view.

Jakobsen, M.; Kongsted, A. G.; Hermansen, J. E. (2015). Foraging behaviour, nutrient intake from pasture and performance of free-range growing pigs in relation to feed CP level in two organic cropping systems. *Animal*, 9, 2006-2016.

Jackson, S. G.; Pagan, J. D. (2002). Control colic through management. Alltech's 18TH Annual Physiology Symposium, Lexington, USA. p. 83.

Karsten, H. D.; Patterson, P. H.; Stout, R.; Crews, G. (2010). Vitamins A, E and fatty acid composition of the eggs of caged hens and pastured hens. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 25, 45-54.

Keeling, L. J.; Hughes, B. O.; Dun, P. (1988). Performance of free-range laying hens in a polythene house and their behaviour on range. *Farm Building Progress,* 94, 21–28.

Kjaer, J. B. (2000). Diurnal rhythm of feather pecking behaviour and condition of integument in four strains of loose housed laying hens. *Applied Animal Behaviour Science*, 65, 331–347.

Ladeira, M.M.; Rodriguez, N.M.; Gonçalves, L.C.; Borges, I.; Benedetti, E.; Teixeira, E. A.; Lara, L. B. (2001). Consumo e digestibilidades aparentes totais e parciais do feno de Stylosanthes guianensis. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 53, 231-236.

Lay, D. C. Jr; Fulton, R. M.; Hester, P. Y.; Karcher, D. M.; Kjaer, J. B.; Mench, J. A,; Mullens, B. A.; Newberry, R. C.; Nicol, C. J.; Sullivan, N. P. O.; Porter, R. E. (2011). Emerging Issues: Social sustainability of egg production symposium: Hen welfare in different housing systems. *Poultry Science*, 90, 278–294.

Lebret, B.; Guillard, A. S. (2005). Outdoor rearing of cull sows: effects on carcass, tissue composition and meat quality. *Meat Science*, 70, 247–257.

Lebret, B. (2008). Effects of feeding and rearing systems on growth, carcass composition and meat quality in pigs. *Animal*, 2, 1548-1558.

Leeson, S.; Summers, J. D. (2001). Digestion and nutrient availability. *Nutrition of the Chicken. 4th ed. Univ. Books, Guelph, Ontario, Canada*, 1-33.

Leite, D. M. G.; Silva, M. A. D.; Medeiros, R. B. D.; Saibro, J. C. D.; Pavan, M. A.; Zanella, J. A.; Barrey, M. A. A. (2006). Comportamento de suínos submetidos a diferentes sistemas de pastejo em pastagem de trevo-branco. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35, 1774-1779.

Li, J.; Zhang, S.; Gu, X.; Xie, J.; Zhu, X.; Wang, Y.; Shan, T. (2022) Effects of alfalfa levels on carcass traits, meat quality, fatty acid composition, amino acid profile, and gut microflora composition of Heigai pigs. *Frontiers in Nutrition*, 9, 975455.

Ludke, J. V.; Figueiredo, E. A. P.; Avila, V. S.; Mazzuco, H. (2010). Alimentos e alimentação de galinhas poedeiras em sistemas orgânicos de produção. *Embrapa Suínos e Aves-Circular Técnica (INFOTECA-E)*.

Miao, Z. H.; Glatz, P. C.; Ru, Y. J. (2005). Free-range poultry production-A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 18, 113-132.

Moura, R. S.; Saliba, E. O. S.; Almeida, F. Q. Lana, A. M. Q.; Silva, V. P.; Rezende, A. S. C. (2009). Feed efficiency in Mangalarga Marchador foals fed diet supplemented with probiotics or phytase. *Revista* Brasileira de Zootecnia, 38, 140-149.

Mugnai, C.; Dal Bosco, A.; Castellini, C. (2009). Effect of rearing system and season on the performance and egg characteristics of Ancona laying hens. *Italian Journal of Animal Science*, 8, 175–188.

Mugnai, C.; Sossidou, E. N.; Dal Bosco, A.; Ruggeri, S.; Mattioli, S.; Castellini, C. (2014). The effects of husbandry system on the grass intake and egg nutritive characteristics of laying hens. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(3), 459-67.

Nilzén, V.; Babol, J.; Dutta, P. C.; Lundeheim, N.; Enfält, A. C.; Lundström, K. (2001). Free range rearing of pigs with access to pasture grazing—effect on fatty acid composition and lipid oxidation products. *Meat Science*, 58, 267-275.

National Research Council - NRC.Nutrients Requirements of Horses.6.ed. Washington D.C.: 341p, 2007.

Oke, O. E.; Ladokun, A. O.; Onagbesan, O. M. (2016). Reproductive performance of layer chickens reared on deep litter system with or without access to grass or legume pasture. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100, 229-235.

Oke, O. E.; Akande, J. O.; Sodipo, I. D.; Ekunseitan, D. A.; Rahman, S. A.; Smith, O. F.; Onagbesan, O. M. (2021). Evaluation of access to different legume pastures on performance and welfare of broiler chickens during dry season under tropical environment. *Veterinary Medicine and Science*, 7, 1359-1368.

Park, C.S.; Adeola, O. (2022). Enzymes and Enzyme Supplementation of Swine Diets. In Sustainable Swine Nutrition, L.I. Chiba (Ed.).

Pavlovski, Z.; Skrabi c, Z.; Lukic, M.; Petricevic, V. L.; Trenkovski, S. (2009). The effect of genotype and housing system on production results of fattening chickens. *Biotechnology in Animal Husbandry* 25, 221–229.

Pelícia, K.; Mendes, A. A.; Saldanha, E. S. P. B.; Pizzolante, C. C.; Takahashi, S. E.; Garcia, R. G.; Komiyama, C. M. (2004). Probiotic and prebiotic utilization in diets for free-range broiler chickens. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 6, 99-104.

Pietrosemoli, S.; Green Jr, J. T.; Villamide, M. J. (2020a). Sows-Gilts stocking rates and their environmental impact in rotationally managed Bermudagrass paddocks. *Animals*, 10, 1046.

Pietrosemoli, S.; Raczkowski, C.; Green Jr, J. T.; Villamide, M. J. (2020b). Effects of growing-finishing pig stocking rates on bermudagrass ground cover and soil properties. *Animals*, 10, 1666.

Pietrosemoli, S.; Tang, C. (2020). Animal welfare and production challenges associated with pasture pig systems: A review. *Agriculture*, 10, 223.

Ponte, P. I. P.; Mendes, I.; Quaresma, M.; Aguiar, M. N. M.; Lemos, J. P. C.; Ferreira, L. M. A.; Soares, M. A. C.; Alfaia, C. M.; Prates, J. A. M.; Fontes, C. M. G. A. (2004). Cholesterol levels and sensory characteristics of meat from broilers consuming moderate to high levels of alfalfa. *Poultry Science*, 83, 810– 814.

Ponte, P.; Rosado, C.; Crespo, J. P.; Crespo, D. G.; Mourão, J. L.; Chaveiro-Soares, M. A.; Brás, J.; Mendes, I.; Gama, L. T.; Prates, J.; Ferreira, L.; Fontes, C. (2008). Pasture intake improves the performance and meat sensory attributes of free-range broilers. *Poultry Science*, 87, 71– 79.

Pletsch, L. M. M.; Casali, M. S.; Baggio, D. K.; Turcato, J. C. (2019). Desenvolvimento sustentável na suinocultura e bovinocultura: a experiência das propriedades do município de Três Passos-RS. *Informe GEPEC*, 23(1), 51–73.

Rivera-Ferre, M.G.; Lantinga, E.A.; Kwakkel, R.P. (2007). Herbage intake and use of outdoor area by organic broilers: Effects of vegetation type and shelter addition. *Journal of Life Sciences*, 54, 279–291.

Rocha, L. O.; Oliveira, R. M.; Hellmeister Filho, P.; Gomes, N. A.; Fátima, C. M.; Silva, O. M.; Fernandes, L. C. (2016). Diagnóstico Participativo/Rural aplicado à criação de aves e suínos caipiras em regiões periurbanas no município de Senador Canedo (GO). *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, 12(2),135-52.

Santos, A. L.; Sakomura, N. K.; Freitas, E. R.; Fortes, C. M. S.; Carrilho, E. N. V. M. (2005). Comparison of free range broiler chicken strains raised in confined or semi-confined systems. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 7, 85-92.

Singh, M.; Cowieson, A. J. (2013). Range use and pasture consumption in free-range poultry production. *Animal Production Science*, 53, 1202-1208.

Singh, M.; Durali, T.; Walker, T.; Cowieson, A. J. (2013). Are we turning chickens into cows: How much grass do free range broilers eat? In 'Proceedings of the 24th Annual Australian Poultry Science Symposium. Sydney, 17–20 February 2013'. p. 146.

Singh, A. K.; Kim, W. K. (2021). Effects of dietary fiber on nutrients utilization and gut health of poultry: a review of challenges and opportunities. *Animals*, 11, 181.

Soleimani, A. F.; Zulkifli, I.; Omar, A. R.; Raha, A. R. (2011). Physiological responses of 3 chicken breeds to acute heat stress. *Poultry Science*, 90, 1435-1440.

Sossidou, E.N.; Dal Bosco, A.; Castellini, C.; Grashorn, M.A. (2015). Effects of pasture management on poultry welfare and meat quality in organic poultry production systems. *World's Poultry Science*, 71, 375–384.

Spencer, T. (2013). Pastured poultry nutrition and forages. *ATTRA (attra. ncat. org)*, *1*, 20.

Studnitz, M.; Jensen, M. B.; Pedersen, L. J. (2007). Why do pigs root and in what will they root?: A review on the exploratory behaviour of pigs in relation to environmental enrichment. *Applied Animal Behaviour Science*, 107, 183-197.

Svihus, B. (2012). Gastrointestinal tract development: implications for free range and conventional production. In 'Proceedings of the 23rd Annual Australian Poultry Science Symposium. Sydney, 19–22 February 2012'. pp. 7–13.

Tavares, F. B.; Santos, M. D. S. V. D.; Araújo, C. V. D.; Costa, H. S. D.; Loureiro, J. P. B.; Lima, E. D. M.; Lima, K. R. D. S. (2015). Performance, growth and carcass characteristics of alternatives lineages of broiler chickens created with access to paddock. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 16, 420-429.

Terlouw, E. M. C.; Astruc, T.; Monin, G. (2004). Effect of genetic background, rearing and slaughter conditions on behaviour, physiology and meat quality of pigs. In: *Proceedings of the EU Workshop on Sustainable Pork Production: Welfare, Quality, Nutrition and Consumer Attitudes* (ed. AH Karlsson and HJ Andersen), pp 113–125. Copenhagen, Denmark.

Torres, A. P.; Piedade, A. (1945). Gramados para Parques avícolas. Nota prévia - Anais da ESALQ - USP, 2: 431-454, Piracicaba.

Tufarelli, V.; Ragni, M.; Laudadio, V. (2018). Feeding forage in poultry: a promising alternative for the future of production systems. *Agriculture*, 8, 81.

Vicenzi, M. L. (1996). Implantação, tipos e manejo da cobertura vegetal em “Sistema Intensivo de Suínos Criados ao Ar Livre”. In: Simpósio sobre sistema intensivo de suínos criados ao ar livre - SISCAL, 1996, Concórdia. Anais. Concórdia. p.43-57.

Walker, A.; Gordon, S. (2003). Intake of nutrients from pasture by poultry. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62, 253-256.

Ward, J. M.; Houston., D. C.; Ruxton, G. D.; Mccafferty, D. J.; Cook, P. (2001). Thermal resistance of chicken (Gallus domesticus) plumage: a comparison between broiler and free-range birds. *British Poultry Science*, 42, 558– 563.

Worthington, T. R.; Danks, P. W. (1992). Nitrate leaching and intensive outdoor pig production. *Soil Use and Management*, 8, 56-59.

Zanine, A. M.; B.R. Vieira, D.J. Ferreira, A. J. M. Vieira e Lana, R. P. (2009). Comparação do habito alimentar de eqüídeos sob pastejo, Archivos Zootecnia, 58, 459-462.

Zuluaga, A. M.; Mira, A.; Sánchez, J. L.; Martínez, J. R. (2018). Frequency of abnormal and stereotypic behaviors in urban police patrolling horses: A continuous 48- hour study. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 31(1), 1-9.

19

Visitantes Florais em Plantas Forrageiras Tropicais

Williane Patrícia da Silva Diniz[1]
Mércia Virginia Ferreira dos Santos[2]
Darclet Teresinha Malerbo de Souza[3]
Márcio Vieira da Cunha[3]
Maria Aline Alves Mota[4]
Valdson José da Silva[3]

Introdução

As pastagens podem prover diversos serviços ecossistêmicos, contribuindo para a manutenção do bem-estar e o desenvolvimento econômico e social. Dentre os benefícios oferecidos pelos ecossistemas tem-se a polinização.

A polinização caracteriza-se como importante serviço ecossistêmico para a produção e desenvolvimento agrícola, promovendo benefícios como manutenção e variabilidade genética de populações de plantas nativas, da biodiversidade e das funções ecossistêmicas, produção de alimentos e de produtos apícolas (EL ABDOUNI et al., 2022; COSTANZA et al., 2017). Além disso, promove melhoria na qualidade e rendimento de culturas em escala local e global (EL ABDOUNI et al., 2022). O

[1] Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, Pernambuco. Bolsista Fixação de Pesquisador- FACEPE.
[2] Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, Pernambuco. Bolsista do CNPq.
[3] Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, Pernambuco.
[4] Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, Pernambuco. Bolsista FACEPE.

conhecimento de associações entre visitantes florais e diferentes elementos da paisagem e fatores de meio (Figura 1), são de suma importância para tomada de decisão de manejo, visando manter populações de abelhas e serviços de polinização (BROWN et al., 2020).

Figura 1. Visitantes florais e sua interação com diferentes fatores bióticos e abióticos.

O presente capítulo objetiva apresentar informações sobre a biodiversidade de visitantes florais e potenciais polinizadores em plantas forrageiras tropicais, destacando como estes organismos são influenciados pelos diferentes sistemas de cultivo e manejo.

Importância

A conversão da vegetação nativa em áreas cultivadas é um dos principais fatores da perda de biodiversidade (DIAZ et al., 2019), bem como de agentes polinizadores em escala global, incluindo diversas espécies de abelhas (GRAB et al., 2019).

Conhecer as espécies vegetais que são visitadas pelas abelhas é um dos fatores mais importantes na produção apícola e meliponícola. As abelhas utilizam o néctar das flores para a elaboração do mel, o pólen das flores para a manutenção das colônias e as resinas das plantas, de brotações, folhas e caules, para a elaboração

da própolis ou da geoprópolis, no caso de abelhas melíponas. Com relação à fonte de alimento, muitas vezes, as flores visitadas fornecem apenas néctar aos visitantes florais; às vezes, apenas pólen, e, outras vezes, fornecem néctar e pólen para as abelhas e outros visitantes.

O declínio de insetos polinizadores tem gerado enorme preocupação, não apenas em termos da perda de biodiversidade, mas também no impacto da polinização de culturas (POTTS et al., 2010; GARIBALDI et al., 2011) e manutenção da produção agrícola (GODFRAY et al., 2010; RICKETTS et al., 2008). Apesar da maioria dos polinizadores serem insetos, tais como abelhas, moscas, borboletas, mariposas, vespas, besouros e tripes, existem alguns polinizadores vertebrados, tais como pássaros, morcegos, outros mamíferos e lagartos (POTTS et al., 2016).

As abelhas são responsáveis pela polinização de 40 a 90% dos vegetais, tornando-se indispensável para reprodução vegetal da maioria das plantas, em praticamente todos os ambientes terrestres (OLLERTON et al., 2011).

Em áreas de pastagens, a presença de insetos polinizadores é geralmente maior quando a vegetação apresenta maior diversidade funcional de espécies de plantas (ORFORD et al., 2016). Com isso, a presença e diversidade de insetos polinizadores tende a menor em pastagens formadas por apenas uma espécie forrageira que em pastagens nativas ou formadas por multiespécies de diferentes grupos funcionais. Neste sentido, é importante avaliar a contribuição de plantas forrageiras com diferentes características e formas de cultivo na manutenção da diversidade de insetos polinizadores de forma a favorecer diferentes serviços providos pelas pastagens.

Visitantes florais em leguminosas

Ramalho et al. (2010), em estudos da frequência de visitantes florais de *Stylosanthes viscosa* Sw., observaram que as flores foram visitadas por 10 espécies de abelhas (*Apoidea*) pertencentes aos gêneros *Centris*, *Exomalopsis*, *Dicranthidium*, *Megachile* e *Xylocopa*, todas em busca de néctar e com uma alta frequência das abelhas *Xylocopa*.

O manejo é um dos fatores que pode interferir no número e diversidade de visitantes florais presentes em uma cultura. Al-Kahtani et al. (2017) avaliaram o efeito da associação de três níveis de adubação fosfatada (0, 300 e 600 kg P_2O_5 ha^{-1} ano^{-1}) com polinização ou sem polinização na produção de sementes de Alfafa (*Medicago sativa* L.). Os autores observaram que a associação da polinização por abelhas ou outros insetos com o nível de adubação fosfatada de 600 kg P_2O_5 ha^{-1}

ano^{-1} aumenta a produção de sementes e que não há produção de sementes sem polinização por insetos.

Avaliando a diversidade de visitantes florais em genótipos de *Stylosanthes* cultivados na Zona da Mata Seca de Pernambuco, Diniz (2020) observou insetos como borboletas, dípteros, libélulas, vespas e grandes abelhas solitárias da espécie *Xylocopa* sp., destacando-se como visitantes florais, *Exomalopsis auropilosa*, *Apis melífera*, *Tetragonisca angustula* e a *Trigona spinipes,* por apresentarem maior número de indivíduos e frequência de visitas durante as avaliações. As abelhas são atraídas por flores que possuem cores vivas, como azul, lilás, amarelo e que produzem e oferecem algum tipo de recurso floral (PROCTOR et al., 1996).

Em área restrita de Caatinga, em Ibiraba- Bahia, os visitantes florais mais abundantes são abelhas sociais *Trigona spinipes*, *Apis mellifera*. Porém, abelhas da espécie *Trigona spinipes* apresentam algumas características que favorecem sua abundância em vários habitats. A agressividade de suas campeiras, hábito generalista de coleta e colônias populosas, são consideradas praga em 99 diversas culturas por causar danos durante a coleta de tecido vegetal (RODARTE et al., 2008). Neste sentido, Boica et al. (2004) relatam que indivíduos de *T. spinipes* podem consumir partes florais, podendo prejudicar todo o aparelho reprodutivo da flor, enquanto *A. mellifera* apenas recolhe o pólen das anteras, tocando as anteras e os estigmas, resultando em polinização legítima.

Mota (2022) observou que a *T. spinipes* ao realizar visitações em flores de *C. ternatea* L. perfura a base da corola da flor danificando seu aparelho reprodutivo (Figura 2).

Figura 2. Perfuração na base da corola da flor de cunhã (*C. ternatea* L.) realizada pela abelha *Trigona spinipes*.

Fonte: Mota (2022).

As abelhas apresentam diferentes comportamentos de forrageamento em busca de néctar ou pólen (SPRENGEL, 1793), dentre eles: I) polinização legítima, em que as abelhas inserem a probóscide na flor para coletar pólen e néctar, transferindo o pólen para o estigma (TASEI, 1976) (Figura 3A); II) roubo de néctar, caracterizado pela abelha extrair o néctar sem entrar em contato com as parte reprodutivas das flores, onde muitas vezes elas abrem um buraco no tubo da flor (INOUYE, 1980; TASEI, 1976) (Figura 3B) ; e III) visitas a nectários extraflorais, em que as abelhas coletam o néctar de nectários presentes fora das flores sem fornecer polinização (BOND; POULSEN, 1983). Esses comportamentos dependem da morfologia da flor e, portanto, nem todos os três comportamentos podem ser observados em todas as culturas (RADERSCHALL et al., 2021).

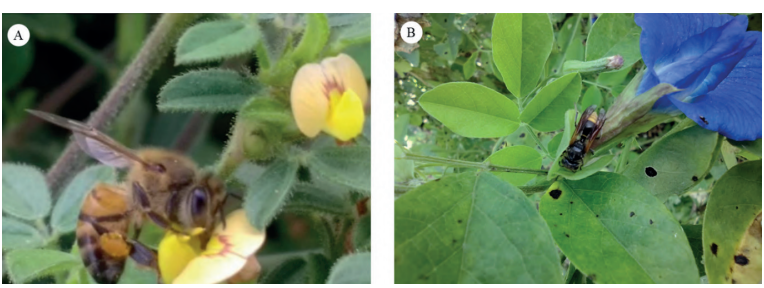

Figura 3. Visitantes florais forrageando flores de leguminosas forrageiras A- *Stylosanthes seabrana*, abril de 2017, B- *Clitoria ternatea* L.

A *A. mellifera* destaca-se por apresentar polinização legítima de flores de *Stylosanthes* sp.*,* com as atividades concentradas nos horários de temperaturas mais amenas, das 7:00h às 11:30h. No momento da visita ao *Stylosanthes*, as abelhas coletam apenas o pólen, ou somente o néctar ou, ainda para realizar a coleta dos dois componentes durante a mesma visita (Diniz, 2020) (Figura 4).

Figura 4**.** Abelha *Apis mellifera* forrageando pólen (A e B) e néctar (C e D), em *Stylosanthes seabrana*, abril de 2017, Carpina-PE.

A leguminosa Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth) é rica em néctar, atraindo borboletas e insetos polinizadores, como é o caso das abelhas. De acordo com a Embrapa, é uma planta apícola por excelência, produzindo grande quantidade de pólen e abundante néctar, de que as abelhas são muito presentes (Carvalho, 2007). De acordo com Aires e Freitas (2001), *M. caesalpiniifolia* estava presente em

12 das 14 amostras (85,71 %) de méis do Estado do Ceará, sendo considerada como planta importante na composição do mel cearense (Freitas, 1991; Noronha, 1997).

Entretanto, observações *in loco*, entretanto, mostraram que as abelhas coletam apenas pólen nas inflorescências de Sabiá (Figura 5). Ferreira (2022) reportou que algumas plantas podem ser fornecedoras apenas de pólen para as abelhas, a exemplo da Sabiá.

Figura 5. Abelha africanizada *Apis mellifera* coletando pólen nas inflorescências da Sabiá (*Mimosa caesalpiniifolia* Benth), Recife-PE.

A percepção de alguns apicultores é de que as abelhas produzem mel do sabiá quando inicia seu florescimento, pode ser explicado pela relação positiva que existe entre a coleta de pólen e a ovoposição da rainha. Isto é, quanto mais pólen as abelhas coletam e armazenam, mais a rainha é estimulada a fazer a ovoposição (botar ovos) e aumenta a população da colônia e o número de abelhas campeiras coletando néctar, de outras espécies vegetais. O que se percebe, então, é o aumento na produção de mel quando o sabiá inicia o florescimento.

Além disso, a observação de pólen de sabiá, em análise polínica de amostras de mel, pode ser explicada pela capacidade das abelhas carregarem pólen nos seus pelos, e que podem ser transferidos na elaboração do mel. A análise polínica do mel

pode garantir que as abelhas, realmente, visitaram aquelas flores, mas não garantem que elas coletaram néctar daquela espécie.

Observações *in loco*, realizadas em Recife, Pernambuco, desde 2017, evidenciam que abelhas africanizadas *A. mellifera* visitaram as flores apenas nas primeiras horas da manhã, das 6h00 às 8h00, para coleta exclusiva de pólen. Outras espécies de abelhas também foram observadas, coletando pólen, principalmente de manhã, como irapuás (*Trigona spinipes*) (Figura 6A), iraí (*Nannotrigona testaceicornes*) (Figura 6B), uruçu nordestina (*Melipona scutellaris*) (Figura 6C), mosquito ou mirim (*Plebeia* sp.), além de abelhas *Bombus* e abelhas da família Halictideae (Figura 6D). Também foram observadas moscas e, discordando de alguns autores, não observamos borboletas nas inflorescências do sabiá. Foram observadas abelhas irapuás coletando resina, nas brotações das inflorescências (Figura 7),

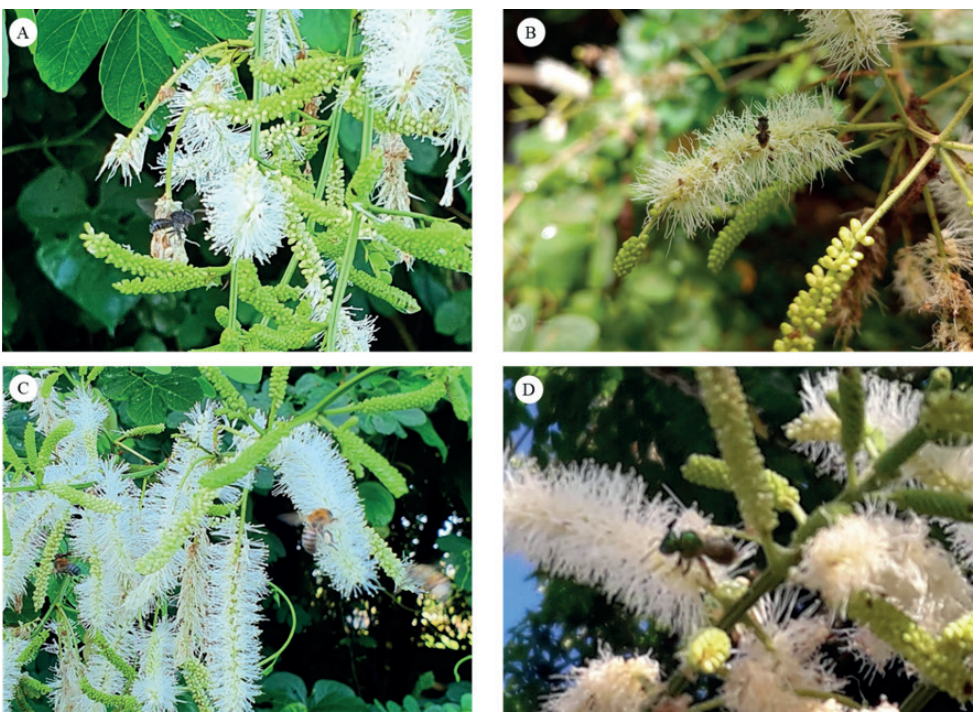

Figura 6. Abelha sem ferrão irapuá (*Trigona spinipes*) (A), iraí (*Nannotrigona testaceicornes*) (B), uruçu nordestina (*Melipona scutellaris*) (C), e abelha da família Halictidae coletando pólen nas inflorescências do sansão-do-campo (*Mimosa caesalpiniifolia* Benth), Recife-PE.

Figura 7. Abelhas sem ferrão irapuá (*Trigona spinipes*) coletando resina nas brotações das inflorescências do sansão-do-campo (*Mimosa caesalpiniifolia*), Recife-PE.

Visitantes florais em gramíneas

A família das gramíneas também é visitada pelos polinizadores. Dentre as espécies poliníferas, isto é, que fornecem pólen, destaca-se o milho (*Zea mays* L.). Os pendões do milho são intensamente visitados pelas abelhas africanizadas *A. mellifera*, no Brasil (MALERBO-SOUZA, 2011).

Schulze-Albuquerque et al. (2020) registraram a presença de visitantes florais em três espécies de gramíneas (*Paspalum maritimum* (morfotipos 1 e 2), *Paspalum millegrana* e *Urochloa plantaginea*) no estado de Pernambuco. As abelhas foram os principais visitantes de *P. maritimum*, com 566 visitas da *Apis mellifera* e 857 visitas da abelha sem ferrão *Trigona spinipes*, nos morfotipos 1 e 2, respectivamente. Na *P. millegrana*, o visitante mais frequente foi a mosca Syrphid (221 visitas) e na *U. plantaginea* foi a *Apis mellifera* (526 visitas). Os autores relataram que os visitantes gastavam cerca de 30 segundos em cada inflorescência e que depois de visitar uma inflorescência, os visitantes procuravam nas proximidades inflorescências da mesma espécie.

Sabugosa-Madeira et al. (2007) relataram que as abelhas não mostraram interesse pelos campos de Milho quando existiam outras boas fontes de pólen

próximas e que garantiam a sua subsistência. Porém, as abelhas chegam a alimentar-se quase exclusivamente de pólen de milho, em caso de carência alimentar ou quando os apiários se situam em áreas de grandes plantações deste cereal. Num estudo das cargas polínicas das abelhas, durante um período de três anos (2002-2004), verificou-se que o pólen de milho chegou a satisfazer, em algumas semanas, 17% das necessidades das abelhas o que representou nas colônias estudadas, aproximadamente, 0,5 kg.

Malone e Pham-Delegue. (2001) e Huang et al. (2004) citaram que, aparentemente, as abelhas são incapazes de distinguir flores transgênicas de não transgênicas. Já Ramirez-Romero et al. (2005, 2008) observaram alterações no comportamento das abelhas, verificando que levaram mais tempo a consumir a solução contaminada com pólen transgênico e que as abelhas reduziam o número de visitas a flores artificiais com uma solução açucarada contendo as proteínas sintetizadas pelo milho Bt, mantendo essa redução mesmo depois de lhes serem apresentadas as mesmas flores com alimento não contaminado, concluindo que a toxina Cry1Ab possui um fator antinutricional ou repulsivo, com efeitos sub letais que foram memorizados pelas abelhas.

Um experimento que foi conduzido em Ribeirão Preto, SP, e teve como objetivo identificar as características dos pendões dos híbridos convencionais e transgênicos de milho que influenciavam a visitação das abelhas *Apis mellifera* africanizadas na coleta de pólen. Uma área foi plantada com um híbrido convencional e seis híbridos transgênicos de milho: (1) Convencional 2B587 (controle); (2) Híbrido expressando Cry1F genes pat + + + Cry1A105 Cry2Ab2 + EPSPS; (3) Cry1A105 + Cry2Ab2; (4) Vip3A + pmi; (5) Cry1Ab Vip3A + + + EPSPS pmi; (6) Cry1F + pat; (7) Cry1Ab Cry1F + + + EPSPS Pat, com três repetições, em duas épocas de plantio. A frequência das visitações das abelhas africanizadas, coletando pólen, no decorrer do dia, foi obtida por contagem, nos primeiros cinco minutos de cada horário, das 7h00 às 11 horas, com três repetições (três dias distintos), em cada híbrido.

Nesse experimento, os pendões de cada híbrido foram avaliados com relação ao comprimento e largura e 10 pendões de cada híbrido foram coletados, o pólen foi recolhido e armazenado para análise da proteína bruta. Houve predominância de abelhas africanizadas nos pendões do Milho.

Para avaliar o teor de proteína bruta do pólen coletado pelas abelhas, 10 pendões foram coletados, com duas repetições, totalizando 20 pendões para cada híbrido. Os pendões foram levados ao laboratório da Instituição e o pólen foi separado das espiguetas, em peneiras individualizadas. O pólen retirado dos pendões de cada híbrido foi etiquetado e mantido refrigerado, para posterior análise. Duas lâminas

de cada híbrido foram confeccionadas para identificar diferenças na estrutura dos grãos de pólen. A análise de proteína bruta foi realizada no Laboratório de Análise de Alimentos, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, UNESP.

Com relação ao teor de proteína bruta do pólen, observou-se que o híbrido Viptera® apresentou teor (24,79%, em média) significativamente maior, não diferindo apenas do híbrido Optimum® (23,16%, em média), mas diferindo dos demais. Esses dados foram maiores que os obtidos por Babendreier et al. (2004) que encontraram teor de 16,7% de proteína bruta no pólen do Milho, e por Wiese (2005), que considerou fraco o teor de proteína bruta do pólen do milho, em torno de 15%.

Os grãos de pólen apresentaram diferenças com relação à coloração, mas não quanto ao formato (Figura 8). Além disso, os híbridos apresentaram diferenças na forma estrutural dos seus pendões e na quantidade de pólen produzido, entretanto, esses dados não foram quantificados, sendo necessários novos experimentos.

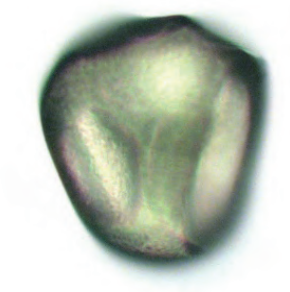

Figura 8. Grão de pólen do milho (*Zea mays*), Ribeirão Preto, SP.

O pólen de um híbrido fecundou as flores femininas de outros híbridos, pois eles estavam muito próximos. A polinização do milho é considerada anemófila (Malerbo-Souza et al., 2008), sendo que uma das características dessas plantas é a produção intensa de pólen que será levado pelo vento. Em dias de vento forte, como ocorreu no primeiro plantio, o pólen dos híbridos transgênicos pode ter sido levado a distâncias consideráveis. Inclusive, em dias de vento forte, as abelhas tinham dificuldade em pousarem sobre as hastes dos pendões para a coleta de pólen.

Embora o pólen de milho tenha grandes dimensões (76 – 106µm), em comparação com o pólen das restantes gramíneas, e tenha tendência para se depositar nas imediações, cada panícula produz cerca de 25 milhões de grãos de pólen, libertando cerca de 2 milhões de grãos de pólen por dia e por planta (Aylor

et al., 2003; Jarosz et al., 2003). O pólen do milho por dispersão anemófila atinge distâncias consideravelmente elevadas, mas quando se considera o transporte mediado por insetos palinófagos, como as abelhas, as distâncias são muito maiores. Embora não esteja perfeitamente estabelecido o raio de influência de uma colônia de abelhas, os trabalhos mais recentes apontam para distâncias médias de 6 km, podendo este valor ser encurtado ou aumentado até 12 km, dependendo das condições climáticas e da disponibilidade de alimento (Beekman & Ratnieks, 2000; Capaldi et al., 2000).

Com relação as abelhas que visitam os pendões do milho, foram observadas, principalmente, abelhas *A. mellifera* africanizadas nos pendões do milho (88,9%) (Figuras 9A e B), entretanto, algumas outras espécies de abelhas nativas foram observadas (11,1%), como a abelha *Trigona spinipes* (Figura 9C) e a abelha *Xylocopa frontalis* (Figura 9D).

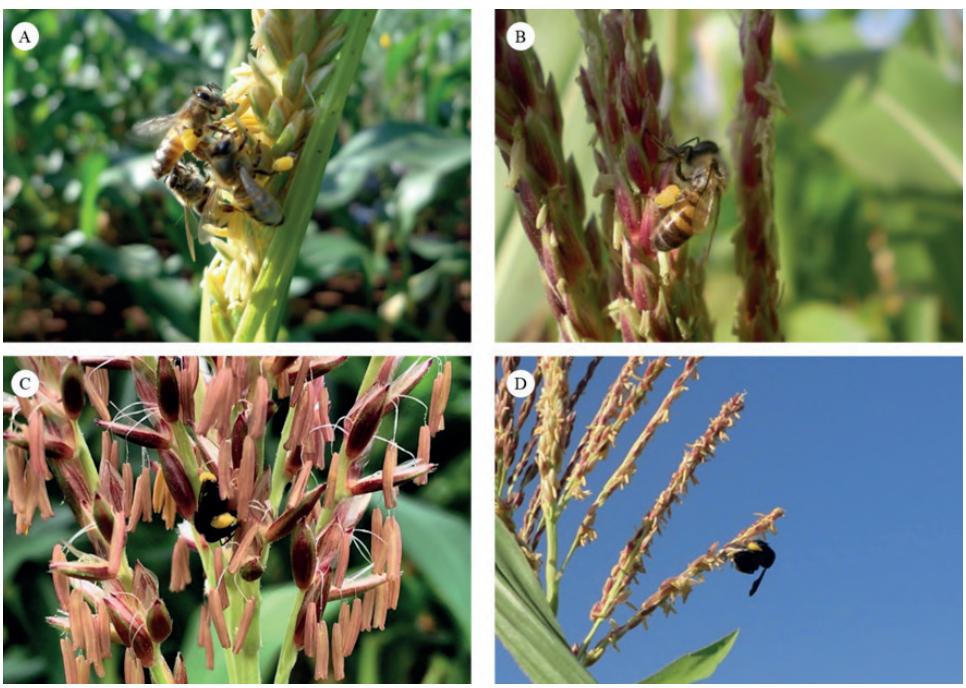

Figura 9. Abelhas *Apis mellifera* africanizadas (A e B), *Trigona spinipes* (irapuá) (C), *Xylocopa frontalis* (mamangava) (D), coletando pólen nos pendões do milho (*Zea mays*), junho, Ribeirão Preto, SP.

Malerbo-Souza e Silva (2011) mencionam que a abelha preferiu coletar pólen das 7h00 às 11h00, sendo que a maioria das espécies de plantas tem sua produção de pólen concentrada no início da manhã e néctar durante todo o dia. Malerbo-Souza et al. (1998), avaliando a atividade de coleta das abelhas africanizadas, observaram que, em média, 51,4; 37,0 e 11,6% das operárias que entram nas colônias transportam pólen nas corbículas, das 8-11h, 11-14h e 14-17h, respectivamente.

As flores masculinas dos pendões são muito visitadas pelas abelhas *A. mellifera*, para coleta de pólen (Malerbo-Souza et al., 2008, Malerbo-Souza, 2011) e esse recurso alimentar é importante para essas abelhas. Malerbo (1987) observou, em Jaboticabal, SP, que as abelhas foram observadas nos pendões do milho, coletando pólen, entre os meses de outubro a janeiro, isso varia de acordo com a época de plantio dessa espécie vegetal.

Outro comportamento observado foi que a abelha ao coletar o pólen, movimentando as asas formava um rastro (nuvem) de pólen na saída da abelha, o que poderia auxiliar a dispersão do pólen do milho, em dias de pouco vento (Figura 10).

Figura 10. Abelha africanizada *Apis mellifera* dispersando pólen, ao coletar nos pendões do milho, junho, Ribeirão Preto, SP.

Como apresentado, em vários experimentos, foi constatada a predominância da abelha africanizada *A. mellifera* visitando os pendões do milho. As abelhas visitam os pendões, preferencialmente, entre 7h00 e 8h00, para coleta exclusiva de pólen.

Visitantes florais em consórcio de gramíneas com leguminosas

O cultivo consorciado de gramíneas e leguminosas é uma das estratégias para aumentar a diversidade de polinizadores em um sistema de produção de forragem (Figura 11). Em capineiras a inclusão de leguminosas além de melhorar as propriedades físico-químicas do solo proporciona um refúgio para os visitantes florais. Em sua maioria as leguminosas são polinizadas por insetos (SUSO et al., 2016), indicando que a inclusão dessas espécies nesse sistema pode auxiliar na promoção de serviços ecossistêmicos (SANCHEZ; ARANGO; BURKART, 2021).

Figura 11. Cultivo consorciado de Capim-elefante e Cunhã, mês de julho, Carpina-PE. Autora: Camelo, D.

Motta (2022) avaliou o impacto na diversidade e comportamento de visitantes florais em diferentes sistemas de cultivo (consorcio de capim elefante de porte alto e baixo, com Cunhã) nas épocas chuvosa e seca. A autora observou que insetos pertencentes às famílias Vespidae, Libellulidae e Coccinellidae visitaram as flores da Cunhã nos diferentes sistemas de cultivo (monocultivo e consórcio), nas duas épocas

do ano. Destacaram-se como visitantes florais seis espécies da família Apidae (*Apis mellifera*, *Euglossa* sp., *Exomalopsis* sp., *Melipona* sp., *Trigona spinipes* e *Xylocopa* spp.), três da família Nymphalidae (*Danaus* sp., *Hermeuptychia* sp. e *Phoebis* sp.) e uma da família Hesperiidae (*Lerema* sp.). A família Apidae foi a que a apresentou maior densidade comparada às demais famílias, independente do sistema de cultivo e da época do ano (Figura 12).

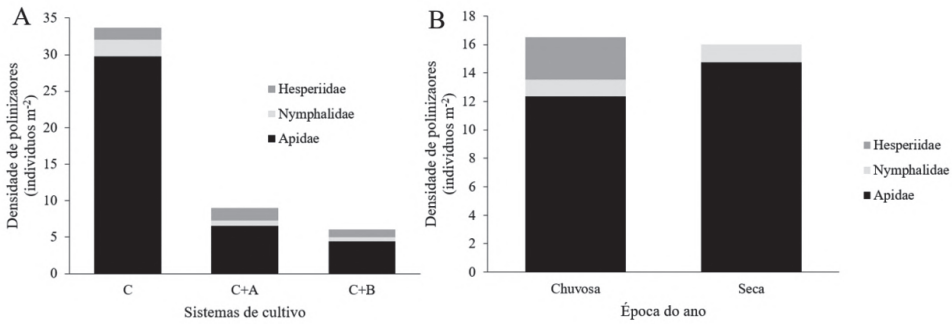

Figura 12. Densidade de visitantes florais (indivíduos m^{-2}) por sistema de cultivo (A) e época do ano (B). C = Cunhã em monocultivo; C+A = Cunhã + Capim Elefante de porte alto; C+B = Cunhã + Capim Elefante de porte baixo.

Fonte: Mota (2022).

Contudo, os sistemas de cultivo podem interferir na diversidade de visitantes florais. Mota (2022) observou efeito significativo do sistema de cultivo sobre os índices de diversidade dos visitantes florais (Tabela 1), com maior densidade de indivíduos no monocultivo de Cunhã, comparado aos consórcios, independente do porte da planta de Capim-elefante.

Tabela 1. Índices de diversidade de visitantes florais na cunhã (*Clitoria ternatea* L.) em monocultivo e consorciada com capim-elefante de portes diferentes, aos 60 dias de rebrota, em duas épocas do ano

Índices de diversidade	Sistemas de cultivo			EPM	Época		EPM
	C	C+A	C+B		Chuvosa	Seca	
Número de espécies	5	5	4	0,7	5	5	0,6
Abundância absoluta	23	25	17	5,1	19	24	4,2
Densidade (indivíduos m^{-2})	31a	3b	2b	3,5	8	8	2,9
Índice de Shannon	1,0	1,2	1,0	0,2	1,0	1,1	0,1
Índice de Brillouin	0,55ab	0,78a	0,51b	0,1	0,60	0,65	0,1
Dominância	0,5	0,4	0,5	0,1	0,5	0,4	0,1
Equidade	0,61b	0,82a	0,76ab	0,1	0,77	0,74	0,1

C = Cunhã em monocultivo; C+A = Cunhã + Capim-elefante de porte alto; C+B = Cunhã + Capim-elefante de porte baixo. Médias seguidas de igual letra não diferem entre si.

Fonte: Mota (2022).

O consórcio com os genótipos de Capim-elefante de porte alto, promove maior equilíbrio de visitantes florais, mantendo a diversidade destes insetos. A ocorrência de uma grande variedade de visitantes florais na Cunhã (Figura 13), mostra a importância da inclusão desta leguminosa no monocultivo de Capim-elefante, para manutenção da diversidade e maior equidade de visitantes florais (MOTA, 2022).

Figura 13. Diversidade de visitantes florais observados no consorcio de Capim elefante de porte alto e baixo e Cunhã. Carpina-PE.

Fonte: Mota (2022).

Visitantes florais em cactáceas

As cactáceas forrageiras também têm suas inflorescências visitadas por diferentes visitantes florais, no entanto, o fenótipo floral é um fator que determina a frequência de polinizadores em certas espécies de plantas (ARMBRUSTER, 2017). Lenzi et al. (2011) avaliaram a diversidade de visitantes florais e os potenciais polinizadores de *O. monacantha* (Willd.). Os autores observaram que as flores dessa espécie são visitadas por poucas espécies de insetos, como abelhas, coleópteros e formigas. Embora as borboletas, beija-flor, formigas, besouros e pássaros sejam visitantes das flores do gênero *Opuntia*, as abelhas são as mais frequentes e os polinizadores mais prováveis. Já para o gênero *Nopalea*, por sua vez, suas flores são adaptadas à polinização por pássaros, notadamente beija-flor (PIMIENTA-BARRIOS e DEL CASTILLO, 2017).

Cunha (2022) avaliou os visitantes florais e polinizadores da palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) e observou que os visitantes mais frequentes foram a espécie

Apis melífera (Linnaeus, 1758), com 37,43% das visitas, seguido de espécies da família *Formicidae* (31,61%) e da espécie *Bombus atratus* (13,80%) (Figura 14).

Figura 14. Flores de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*), com presença de *Apis mellifera* (Linnaeus, 1758), *Trigona spinipes* (Fabricius, 1793), *Phoebis sennae* (Linnaeus 1758) e *Formicidae* em suas estruturas reprodutiva, Arcoverde-PE.

Fonte: Cunha (2021).

Considerações finais

As plantas forrageiras podem ajudar na promoção e aprimoramento da biodiversidade de visitantes florais. A introdução de leguminosas forrageiras nos sistemas de produção de forragem pode contribuir para aumentar a diversidade de

visitantes florais nas áreas de pastagens, devido a variedade de estruturas florais que possuem.

Sistemas de cultivo e manejo de plantas forrageiras podem ser planejados para favorecer a biodiversidade de visitantes florais, incrementando o serviço de polinização e contribuindo para o funcionamento sustentável do ecossistema agropecuário, produção de alimentos e segurança alimentar.

Referências

AIRES, E. R. B.; FREITAS, B. M. Caracterização palinológica de algumas amostras de mel do estado do Ceará. **Ciência agrônomica (Brasil).** v. 32, n. 1-2, p. 22-29, 2001.

AL-KAHTANI, S. N.; TAHA, E. A.; AL-ABDULSALAM, M. Alfalfa (*Medicago sativa* L.) seed yield in relation to phosphorus fertilization and honeybee pollination. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 24, n. 5, p. 1051-1055, 2017.

ALVES, E. U.; SADER, R.; BRUNO, R. L. A.; ALVES, A. U. Dormancy and development in" sabia (*Mimosa caesalpiniifolia* Benth.) seeds. **Revista Árvore**, v. 28, p. 655-662, 2004.

ARMBRUSTER W. S. The specialization continuum in pollination systems: diversity of concepts and implications for ecology, evolution and conservation. **Functional Ecology**, v. 31: p. 88–100, 2017.

AUGUSTO, S. G.; SOUZA, C. A. S. **Leguminosa sabiá como cerca viva no Estado do Espírito Santo**. Ilhéus: CEPLAC: EPEC, 1995. 15 p

AYLOR, D. E.; SCHULTES, N.; SHIELDS, E. An aerobiological framework for assessing crosspollination in maize. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 119, p. 111-129, 2003.

BABENDREIER, D.; KALBERER, N.; ROMEIS, J.; FLURI, P.; BIGLER, F. Pollen consumption in honey bee larvae: a step forward in the risk assessment of transgenic plants. **Apidologie**, v. 35, p. 293-300, 2004.

BARNEBY, R. C. **Sensitivae censitae: a description of the genus Mimosa Linnaeus (Mimosaceae) in the new world**. Bronx: The New York Botanical Garden, 1991. 835 p. (Memoris of the New York Botanical Garden, 65).

BEEKMAN, M.; RATNIEKS, F. Long-range foraging by the honey bee, *Apis mellifera* L. **Functional Ecology**, v. 14, p. 490-496, 2000.

BOICA, J. R. A. L.; SANTOS, T. M.; PASSILONGO, J. *Trigona spinipes* (Fabr.) (Hymenoptera: Apidae) em espécies de maracujazeiro: flutuação populacional, horário de visitação e danos às flores. **Neotropical Entomology**, v. 33, p. 135-139, 2004.

BOND, D. A.; POULSEN, M. H. Pollination. **The Faba Bean**, p. 77-101, 1983.

BRANDÃO, M.; LACA-BUENDIA, J. P.; MACEDO, J. F. **Árvores nativas e exóticas do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2002. 528 p

BREYER, O. **O pólen apícola**. Disponível em http://www.breyer.ind.br/apicultura/apicultura_polen.htm. Acesso em 10 março de 2022.

BROWN, J.; BARTON, P. S.; CUNNINGHAM, S. A. Flower visitation and land cover associations of above ground- and below ground-nesting native bees in an agricultural region of south-east Australia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 295, p. 106895, 2020.

BURKART, A. **Leguminosas mimosoideas**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1979. 299 p.

CAPALDI, E.; SMITH, A.; OSBORNE, J.; FAHRBACH, S.; FARRIS, S.; REYNOLDS, D.; EDWARDS, A.; MARTIN, A.; ROBINSON, G.; POPPY, G.; RILEY, J. Ontogeny of orientation flight in the honeybee revealed by harmonic radar. **Nature**, v. 403, p. 537-540, 2000.

CARVALHO, P.E.R. **Sabiá *Mimosa caesalpiniaefolia***. Circular Técnica 135, Embrapa, 2007.

CARVALHO, R. F. Alguns dados fenológicos de 100 espécies florestais, ornamentais e frutíferas, nativas ou introduzidas na EFLEX de Saltinho, PE. **Brasil Florestal**, v. 7, n. 25, p. 42-44, 1976.

COSTANZA, R.; GROOT, R.; BRAAT, L.; KUBISZEWSKI, I.; FIORAMONTI, L.; SUTTON, P.; FARBER, S.; GRASSO, M. Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go?. **Ecosystem Services**, v. 28, p. 1-16, 2017.

CUNHA, J. T. S. F. **Aspectos florais, caracterização e seleção de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*)**. 2022. 94f. Tese (Doutorado). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Recife-PE.

DIAZ, S.; SETTELE, J.; BRONDÍZIO, E.; HGO, H. T.; GUÈZE, M.; AGARD, J.; ARNETH, A.; BALVANERA, P.; BRAUMAN, K.; BUTCHART, S.; CHAN, K.; GARIBALDI, L. A.; ICHII, K.; LIU, J.; SUBRAMANIAN, S. M.; MIDGLEY, G. F.; MILOSLAVICH, P.; OBURA, D.; PFAFF, A.; POLASKY, S.; PURVIS, A.; RAZZAQUE, J.; REYER, B.; CHOWDHURY, R. R.; SHIN, Y.; VISSEREN-HAMAKERS, I.; WILLIS, K.; ZAYS, C. **Summary for Policymakers of the Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of the Intergovernmental Science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services**, 2019.

DINIZ, W. P. S. **Aspectos produtivos, qualitativos e frequência de visitantes florais em espécies de *Stylosanthes* ssp. Na Zona da Mata Seca de Pernambuco**. 2020. 131p. Tese (Doutorado). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Recife-PE.

DUTRA, V. F.; MORALES, M.; JORDÃO, L. S. B.; BORGES, L. M.; SILVEIRA, F. S.; SIMON, M. F.; SANTOS-SILVA, J.; NASCIMENTO, J. G. A., RIBAS, O. D. S. ***Mimosa* in Flora do Brasil 2020**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (https://floradobrasil2020.jbrj.gov.br/FB18776), 2020.

EL ABDOUNI, I.; LHOMME, P.; CHRISTMANN, S.; DORCHIN, A.; SENTIL, A.; PAULY, A. HAMROUD, L.; IHSANE, O.; REVERTÉ, S.; PATINY, S.; WOOD, T. J.; BENCHARKI, Y.; RASMONT, P.; MICHEZ, D. Diversity and relative abundance of insect pollinators in Moroccan agroecosystems. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 10, p. 866581, 2022.

FERREIRA, J. M. Fontes de pólen: plantas que alimentam as abelhas. **Revista Mensagem Doce**, n. 167, p. 28-31, 2022.

FREITAS, B. M. **Potencial da caatinga para produção de pólen e néctar para a exploração apícola**. UFC, 1991.

GARIBALDI, L. A.; STEFFAN-DEWENTER, I.; KREMEN, C.; MORALES, J. M.; BOMMARCO, R.; CUNNINGHAM, S. A.; CARVALHEIRO, L. G.; CHACOFF, N. P.; DUDENHÖFFER, J. H.; GREENLEAF, S. S.; HOLZSCHUC, A.; ISAACS, R.; KREWENKA, K.; MANDELIK, Y.; MAYFIELD, M. M.; MORANDIN, L. A., POTTS, S. G.; RICKETTS, T. H.; SZENTGYÖRGYI, H.; VIANA, B. F.; WESTPHAL, C.; WINFREE, R; KLEIN, A. M. Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits. **Ecology Letters**, v. 14, n. 10, p. 1062-1072, 2011.

GODFRAY, H. C. J.; BEDDINGTON, J. R.; CRUTE, I. R.; HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J. P.; PRETTY, J.; ROBINSON, S.; THOMAS, S. M.; TOULMIN, C. Food security: the challenge of the present. **Science**, v. 327, p. 812-818, 2010.

GOULSON, D.; NICHOLLS, E.; BOTÍAS, C.; ROTHERAY, E.L. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides and lack of flowers. **Science**, v. 347, n. 1255957, 2015.

GRAB, H.; BRANSTETTER, M. G.; AMON, N.; URBAN-MEAD, K. R.; PARK, M. G.; GIBBS, J.; BLITZER, E. J.; POVEDA, K.; LOEB, G.; DANFORTH, B. N. Agriculturally dominated landscapes reduce bee phylogenetic diversity and pollination services. **Science**, v. 363, n. 6424, p. 282–284, 2019.

HUANG, Z.; HANLEY, A.; PETT, W.; LANGENBERGER, M.; DUAN, J. Field and semifield evaluation of impacts of transgenic canola pollen on survival and development of worker bees. **Journal of Economic Entomology**, v. 97, p. 1517-1523, 2004.

INOUYE, D. W. The terminology of floral larceny. **Ecology**, v. 61, n. 5, p. 1251-1253, 1980.

JAROSZ, N.; LOUBET, B.; DURAND, B.; MCCARTNEY, A.; FOUEILLASSAR, X.; HUBER, L. Field measurements of airborne concentration and deposition rate of maize pollen. **Agricultural and Forest Meteorology**., v. 119, p. 37-51, 2003.

LENZI, M.; ORTH, A. I. Floral visitors of the *Opuntia monacantha* (Cactaceae) in sandbank of the Florianopolis, SC, Brazil TT- Visitantes florais de *Opuntia monacantha* (Cactaceae) em restingas de Florianopolis, SC, Brasil. **Acta Biologica Paranaense**, v. 40, p. 19–32, 2011.

MALERBO, D. T. S. **Levantamento da flora apícola nas proximidades do apiário do Campus de Jaboticabal e atividade de coleta das abelhas.** Monografia. 35f. Graduação em Zootecnia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 1987.

MALERBO-SOUZA, D. T. The corn pollen as a food source for honeybees. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 4, p. 701-704, 2011.

MALERBO-SOUZA, D. T.; SILVA, F. A. S. Comportamento forrageiro da abelha africanizada *Apis mellifera* L. no decorrer do ano. **Acta Scientiarum Animal Science**, v. 33, n. 2, p. 183-190, 2011.

MALERBO-SOUZA, D. T.; TOLEDO, V. A. A.; COUTO, L. A.; NOGUEIRA-COUTO, R. H. Uso da tela excluidora de rainha no alvado e seus efeitos na atividade de coleta e no desenvolvimento de colônias de *Apis mellifera*. **Acta Scientiarum. Animal Science**, v. 28, n. 3, p. 383-386, 1998.

MALERBO-SOUZA, D. T.; TOLEDO, V. A. A.; PINTO, A. S. **Ecologia da polinização**. Piracicaba: CP2, 2008. 31p.

MALONE, L. A.; TODD, J. H.; BURGUESS, E. P. J.; CHRISTELLER, J. T. Development of hypopharyngeal glands in adult honeybees fed with a Bt toxin, a biotin-binding protein and protease inhibiter. **Apidologie**, v. 35, p. 655, 2004.

MALONE, L.; PHAM-DÈLÈGUE, M. Effects of transgene products on honeybees (*Apis mellifera*) and bumblebees (*Bombus* sp.). **Apidologie**, v. 32, p. 287-304, 2001.

MODRO, A. F. H. **Flora e caracterização poliníferas para abelhas *Apis mellifera* na região de Viçosa, MG**. (Dissertação) Mestrado em entomologia, Universidade Federal de Viçosa, 98p. 2006.

MOTA, M. A. A. **Aspectos morfológicos e produtivos da *Clitoria ternatea* L. em diferentes sistemas de cultivo: impacto na diversidade e comportamento de visitantes florais**. 2022. 73f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Recife-PE.

NOGUEIRA-COUTO, R. H.; COUTO, L. A. **Apicultura: manejo e produtos.** Jaboticabal: FUNEP, 191p, 2006.

NORONHA, P. R. G. Caracterização de méis cearenses produzidos por abelhas africanizadas: parâmetros químicos, composição botânica e colorimetria. **Fortaleza (CE): Universidade Federal do Ceará**, 1997.

OLLERTON, J.; WINFREE, R.; TARRANT, S. How many Flowering plants are pollinated by animals?. **Oikos**, v. 120, p. 321-326. 2011.

Orford, K.A. et al. Modest enhancements to conventional grassland diversity improve the provision of pollination services. Journal of Applied Ecology, v.53, p906-915, 2016.

PIMIENTA-BARRIOS E.; DEL CASTILLO, R. F. **Reproductive Biology**. In: NOBEL, P. S. (Org.). Cacti: biology and uses. London: University of California Press Ltd, 2017. p. 75-90.

POTTS, S. G.; BIESMEIJER, J. C.; KREMEN, C.; NEUMANN, P.; SCHEIGER, O.; KUNIN, W. E. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 25, p. 345–353, 2010.

POTTS, S. G.; IMPERATRIZ-FONSECA. V.; NGO, H. T.; AIZEN, M. A.; BIESMEIJER, J. C.; BREEZE, T. D.; DICKS, L. V.; GARIBALDI, L. A.; HIL, R.; SETTELE, J.; VANBERGEN, A. J. Safeguarding pollinators and their values to human well-being. **Nature**, v. 540, p. 220–229, 2016.

PROCTOR, R.M.; YEO, P.; LACK, A. **The natural history of pollination**. London: Harper Collins Publishers, 1996. 479 p.

RADERSCHALL, C. A.; BOMMARCO, R.; LINDSTRÖM, S.; LUNDIN, O. Landscape crop diversity and semi-natural habitat affect crop pollinators, pollination benefit and yield. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v. 306, p107189, 2021.

RAMALHO, M.; ROSA, J. F. Ecologia da interação entre as pequenas flores de quilha de *Stylosanthes viscosa* Sw. (Faboideae) e as grandes abelhas *Xylocopa* (Neoxylocopa) cearensis Ducke, (Apoidea, Hymenoptera), em duna tropical. **Biota Neotropica**, v. 10, p. 93-100, 2010.

RAMIREZ-ROMERO, R.; CHAUFAU, J.; PHAM-DELÈGUE, M. Effects of Cry1Ab protoxin, deltamethrin and imidacloprid on the foraging activity and the learning performances of the honeybee *Apis mellifera*, a comparative approach. **Apidologie**, v. 36, p. 601-611, 2005.

RAMIREZ-ROMERO, R.; DESNEUX, N.; DECOURTYE, A.; CHAFFIOL, A.; PHAM-DELÈGUE, M. Does Cry 1Ab protein affect learning performances of the honey bee *Apis mellifera* L. (Hymenoptera, Apidae)?. **Ecotoxycology and Environmental Safety,** v. 70, p. 327-333, 2008.

RIBASKI, J.; LIMA, P. C. F. **Brasil: Mimosa caesalpiniaefolia**. In: RED LATINOAMERICANA DE COOPERACIÓN TÉCNICA EN SISTEMAS AGROFORESTALES. Especies arboreas y arbustivas para las zonas aridas y semiaridas de America Latina. Santiago: FAO, Oficina Regional para America Latina y el Caribe, 1997. p. 107-111. (FAO. Zonas aridas y semiaridas, nº 12). Programa Conjunto FAO/PNUMA de Control de la Desertificación en America Latina y el Caribe.

RIBASKI, J.; LIMA, P. C. L.; OLIVEIRA, V. R. de; DRUMOND, M. A. **Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) árvore de múltiplo uso no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 104)

RICKETTS, T. H.; REGETZ, J.; STEFFAN-DEWNTER, I.; CUNNINGHAM, S.A.; KREMEN.; BOGDANSKI, A.; GEMMILL-HERREN, B.; GREENLEAF, S. S KLEIN, A. M.; MAYFIELD, M. M. MORANDIN, L. A.; OCHIENG, A.; VIANA, B. F. Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns?. **Ecology Letters**, v. 11, p. 499–515, 2008.

RODARTE, A. T. A.; SILVA, F. O.; VIANA, B. F. A flora melitófila de uma área de dunas com vegetação de caatinga, Estado da Bahia, Nordeste do Brasil. **Acta Botanica Brasílica**, v. 22, p. 301-312, 2008.

ROULSTON, T. H.; CANE, J. H.; BUCHMANN, S. L. What governs protein content of pollen: pollinator preferences, pollen-pistil interactions, or phylogeny?. **Ecological Monographs**, v. 70, p. 617-627, 2000.

SABUGOSA-MADEIRA, J. B.; ABREU, I.; RIBEIRO, H.; CUNHA, M. Bt transgenic maize pollen and the silent poisoning of the hive. **Journal of Apicultural Research**, v. 46, p. 57-58, 2007.

SANCHEZ, M. E. N.; ARANGO, J. A. C.; BURKART, S. Promoting forage-legume – pollinator interractions: Integrating crop pollinator management, native beekeeping and silvopastoral systems in Tropical Latin America. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 5, 2021.

SCHULZE-ALBUQUERQUE, I.; COSTA, A. C. G.; MILET-PINHEIRO, P. NAVARRO, D. M. A. F.; THOMAS, W. W.; MACHADO, I. C. Visual and olfactory floral cues related to ambophilous pollination systems in Poaceae. ***Botanical Journal of the Linnean Society***, v. 192, n. 1, p. 242–257, 2020.

SILVA, M. B. R.; VIÉGAS, R. A.; DANTAS NETO, J.; FARIAS, S. A. R. Estresse salino em plantas da espécie florestal sabiá. **Caminhos de Geografia**, v. 10, n. 30, p. 120-127, 2009.

SPRENGEL, C. K. Das entdeckte Geheimnis der Natur im Bau und in der Befruchtung der Blumen [The secret of nature in the form and function of Flowers discovered]. Friedrich Vieweg der Ältere, 1793.

SUSO, M. J.; BEBELI, P. J.; CHRISTMANN, S.; MATEUS, C.; NEGRI, V.; CARVALHO, M. A. A. P.; TORRICELLI, R.; VELOSO, M. M. Enhancing legume ecosystem services through an understanding of plantpollinator interplay. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 333, 2016.

TASEI, J. N. Les insectes pollinisateurs de la féverole d'hiver (Vicia faba equina L.) et la pollinisation des plantes mâle-stérile en production de semence hybride. **Apidologie**, v. 7, p. 1-38, 1976.

TAVARES, S.; PAIVA, F. A. F.; TAVARES, E. J. de S.; LIMA, J. L. S. de. Inventário florestal do Ceará: II. estudo preliminar das matas remanescentes do Município de Tauá. **Boletim de Recursos Naturais**, v. 12, n. 2, p. 5-19, 1974.

TIGRE, C. B. **Silvicultura para as matas xerófilas**. Fortaleza: DNOCS, 1970. 176 p. (DNOCS. Publicação, 243).

VAUDO, A. D.; GROZINGER, T. J.; PATCH, C. M. H. M. Bee nutrition and floral resource restoration. **Current Opinion in Insect Science,** v. 10, p. 133-141, 2015.

WIESE, H. **Apicultura: novos tempos**. 2ed., Guaíba: Agrolivros, 2005. 378p.

YI, H. Y.; CHOWDHURY, M.; HUANG, Y. D.; YU, X. G. Insect antimicrobial peptides and their applications. **Appled Microbiology and Biotechnology**, v. 98, p. 5807-5822, 2014.

9 788581 791999

PROMOÇÃO

CNPq

EX SEMINE SEGES

UFRPE

111 ANOS