



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

IZAAC PEREIRA DA SILVA MEDEIROS

**SUBSTITUIÇÃO DA SILAGEM DE MILHO SEM ESPIGAS POR PALMA
FORRAGEIRA E BAGAÇO DE CANA PARA VACAS EM LACTAÇÃO**

**RECIFE
2024**

IZAAC PEREIRA DA SILVA MEDEIROS

**SUBSTITUIÇÃO DA SILAGEM DE MILHO SEM ESPIGAS POR
PALMA FORRAGEIRA E BAGAÇO DE CANA PARA VACAS EM
LACTAÇÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Zootecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

Área de concentração: Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Andrade Ferreira

Coorientadores: Dr. Sebastião Inocêncio Guido

Dr. Marco Antônio Sundfeld da Gama

**RECIFE
2024**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

S237e Medeiros, Izaac Pereira da Silva.
Substituição da silagem de milho sem espigas por palma forrageira
e bagaço de cana para vacas em lactação / Izaac Pereira da Silva Medeiros.
– Recife, 2024.
60 f.: il.

Orientador(a): Marcelo de Andrade Ferreira.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Programa de Pós-Graduação em Integrado em Zootecnia, Recife, BR-PE,
2024.
Inclui referências.

1. Cactáceas 2. CLA 3. Regiões áridas I. Ferreira, Marcelo
de Andrade, orient. II. Título

CDD 636



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**Substituição da silagem de milho sem espigas por palma forrageira e
bagaço de cana para vacas em lactação**

Tese elaborada por: IZAAC PEREIRA DA SILVA MEDEIROS

APROVADO EM: 26 / 02 / 2024

BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente



MARCELO DE ANDRADE FERREIRA

Data: 01/03/2024 09:37:52-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcelo de Andrade Ferreira (UFRPE)
Orientador

Documento assinado digitalmente



ADRIANO HENRIQUE DO NASCIMENTO RANGEL

Data: 26/03/2024 09:40:06-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dr. Adriano Henrique do Nascimento Rangel (UFRN)

Documento assinado digitalmente



JOAO PAULO ISMERIO DOS SANTOS MONNERA

Data: 04/03/2024 12:17:45-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dr. João Paulo Ismério dos Santos Monnerat (UFRPE)

Documento assinado digitalmente



LUCIANA FELIZARDO PEREIRA SOARES

Data: 01/03/2024 10:15:50-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Luciana Felizardo Pereira Soares (UFRPE)

Documento assinado digitalmente



MICHELE CHRISTINA BERNARDO DE SIQUEIRA

Data: 01/03/2024 11:01:57-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Michelle Christina Bernardo de Siqueira (UFRPE)

Com amor e gratidão aos meus pais e ao meu irmão, dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, Mestre Superior, pela Sua infinita fonte de sabedoria, inspiração e misericórdia, e por me proporcionar o Sopro da Vida.

Aos meus pais Sebastião Pereira de Medeiros Filho (Tiãozinho) e Ivonilda Pereira da Silva Medeiros (Dida) e ao meu irmão Italo Pereira da Silva Medeiros, por serem meu alicerce, por toda a educação que me deram, pelo infinito amor e carinho dedicado à minha pessoa, e com quem aprendi valores espirituais, éticos e morais para substância de toda minha vida. Com vocês muito aprendi e aprendo sobre a arte de viver.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo de Andrade Ferreira, pela amizade, orientação, confiança, paciência e apoio nas atividades realizadas, por ter me inspirado a seguir em frente com a pesquisa e pela competência e dedicação com a ciência, servindo de inspiração para seus orientandos e alunos.

Aos meus coorientadores Dr. Sebastião Inocêncio Guido e Dr. Marco Antônio Sundfield da Gama.

Ao PPGZ por me receber tão bem e me proporcionar a oportunidade de realizar um doutorado acadêmico.

A todos os professores, desde o ensino fundamental até a UFRPE, que me encaminharam nessa jornada de estudos e aprendizado constantes, facilitaram o conhecimento e me direcionaram no caminho a ser percorrido, me auxiliando na conquista de cada disciplina cursada, com vocês não só aprendi com os conteúdos técnicos de sala de aula, mas também com o exemplo de vida de cada um.

Aos amigos (as) do PPGZ, em especial a Lucas Silva, Sharlane Holanda, Salmo Olegário, Darlan dos Santos, Ronan Negreiros, Michelle Siqueira, Caio Carneiro, Luiz Wilker, Agni Nunes, Felipe Gusmão, e aos demais, pela amizade construída e por serem pessoas simples com quem tive a oportunidade de conviver e buscar inspiração.

Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), na pessoa de Leonardo, por todo o apoio, suporte, animais, instalações e insumos necessários para a realização do experimento.

A Sr. Ivo e Carlos Henrique pela amizade, trabalho e colaboração na realização da parte de campo do experimento.

Aos estudantes da UFAPE, na pessoa da professora Dr.^a Safira Valença Bispo, por toda a ajuda durante os períodos de coleta do experimento.

À empresa Ingredion pela doação de parte dos ingredientes concentrados utilizados no experimento.

Aos funcionários/tratadores do Departamento de Zootenia (DZ), nas pessoas de Sr. Pedro, Dona Silvânia, Rafa, Esteliano e Sr. Edson (Bolsonaro), pela amizade.

Aos estudantes de graduação em zootecnia, em especial a Silas Boaventura e Milena Rabelo, pela amizade e ajuda nas análises laboratoriais.

Ao laboratório de nutrição animal (LNA), laboratório de nutrição de pequenos ruminantes pelo suporte, equipamentos e instalações necessárias para análises.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos e pelo apoio financeiro na execução da pesquisa.

A Cynthia Marino, por toda atenção e dedicação para com o PPGCA.

Por fim, a todos e todas que não foram citados, mas que não sendo menos importantes, contribuíram de forma direta ou indireta com a minha caminhada até aqui, minha gratidão.

Muito obrigado!

SUBSTITUIÇÃO DA SILAGEM DE MILHO SEM ESPIGAS POR PALMA FORRAGEIRA E BAGAÇO DE CANA PARA VACAS EM LACTAÇÃO

Resumo: o uso de forragens conservadas na forma de silagem é amplamente utilizado no semiárido. Porém, devido a irregularidade das chuvas, muitas vezes torna-se inviável a sua confecção. Assim, alternativas são necessárias a fim de suprir o déficit forrageiro na época seca do ano. Nesse cenário, a palma forrageira e o bagaço de cana-de-açúcar, juntos, podem ser uma alternativa viável. Assim, objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da substituição da silagem de milho sem espiga (SMSE) por palma forrageira (PF; *Opuntia* spp.) e bagaço de cana-de-açúcar (BC) sobre o consumo de nutrientes, digestibilidade, comportamento ingestivo, produção de leite (PL) e composição do leite de vacas leiteiras, e perfil de ácidos graxos do leite. Dez vacas holandesas, pesando $571 \pm 97,0$ kg e produzindo $23,0 \pm 4,4$ kg de leite por dia, foram distribuídas em dois quadrados latinos 5×5 simultâneos. Os tratamentos consistiram em cinco níveis de substituição de SMSE por PF e BC (0, 25, 50, 75 e 100%). Os resultados mostraram aumento linear no consumo de matéria seca (MS) ($p < 0,05$) (15,98 e 18,73 kg/dia) e aumento quadrático ($p < 0,05$) no consumo de proteína bruta e energia (2,97 kg/dia e 27,52 Mcal/dia, com 95,4 e 88,6% de substituição, respectivamente). A digestibilidade aparente da MS aumentou ($p < 0,05$), mas a digestibilidade da fibra diminuiu linearmente ($p < 0,05$). Os tratamentos tiveram efeito quadrático ($p < 0,05$) sobre PL e PL corrigido para gordura (24,17 kg/dia e 21,9 kg/dia, com 63,9% e 38,6% PF e BC, respectivamente). A gordura do leite (3,26 e 2,35%) e o teor de sólidos totais diminuiram linearmente ($p < 0,05$), enquanto os percentuais de proteína, lactose e sólidos desnatados aumentaram ($p < 0,05$). Além disso, as dietas PF e BC reduziram linearmente o tempo gasto com alimentação e ruminação e o tempo total de mastigação. Os ácidos vacênico (C18:1 *trans*-11) e rumênico (CLA *cis*-9, *trans*-11) aumentaram linearmente. Além de maximizar a produção de leite, a mistura PF e BC reduz o teor de ácidos graxos saturados do leite e aumenta as proporções de ácidos graxos insaturados desejáveis, como C18:1 *trans*-11 e CLA *cis*-9, *trans* 11. Para vacas holandesas alimentadas no semiárido alimentadas com dietas comuns, a produção de leite pode ser maximizada substituindo 38,6% da SMSE por PF e BC.

Palavras-chave: cactáceas; CLA; semiárido; subprodutos.

REPLACING GREEN CORN SILAGE WITHOUT COBS WITH FORAGE PALM AND SUGARCANE BAGASSE FOR LACTATING COWS

Abstract: The use of forage preserved in the form of silage is widely used in the semi-arid region. However, due to irregular rainfall, it is often unfeasible to make it. Therefore, alternatives are necessary in order to overcome the forage deficit in the dry season of the year. In this scenario, cactus and sugar cane bagasse, together, can be a viable alternative. Thus, the objective of this work was to evaluate the effects of replacing corn earless corn silage (ECS) with forage cactus (CC; *Opuntia* spp.) and sugarcane bagasse (SB) on nutrient intake, digestibility, behavior intake, milk production (MY) and composition of milk from dairy cows, and milk fatty acid profile. Ten Holstein cows, weighing 571 ± 97.0 kg and producing 23.0 ± 4.4 kg of milk per day, were distributed in two simultaneous 5×5 Latin squares. Treatments consisted of five levels of replacement of ECS with CC plus SB (0, 25, 50, 75 and 100%). The results showed a linear increase in dry matter (DM) intake ($p < 0.05$) (15.98 and 18.73 kg/day) and a quadratic increase ($p < 0.05$) in crude protein and energy intake (2.97 kg/day and 27.52 Mcal/day, with 95.4 and 88.6% replacement, respectively). DM apparent digestibility increased ($p < 0.05$), but fiber digestibility decreased linearly ($p < 0.05$). The treatments had a quadratic effect ($p < 0.05$) on PL and PL corrected for fat (24.17 kg/day and 21.9 kg/day, with 63.9% and 38.6% PF and BC, respectively). Milk fat (3.26 and 2.35%) and total solids content decreased linearly ($p < 0.05$), while the percentages of protein, lactose and skimmed solids increased ($p < 0.05$). Furthermore, CC plus SB diets linearly reduced time spent feeding and ruminating and total chewing time. Vacenic acid (C18:1 trans-11) and rumenic acid (CLA cis-9, trans-11) increased linearly. In addition to maximizing milk production, the CC + SB mixture reduces the saturated fatty acid content of milk and increases the proportions of desirable unsaturated fatty acids such as C18:1 trans-11 and CLA cis-9, trans 11. For cows semi-arid Holsteins fed common diets, milk production can be maximized by replacing 38.6% of ECS with CC plus SB.

Keywords: cactaceae; CLA; semiarid; byproducts.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Composição química dos ingredientes das dietas experimentais (g/kg de MS).....	29
Tabela 2. Proporções dos ingredientes e composição química das dietas experimentais (g/kg MS).....	29
Tabela 3. Efeitos dos níveis de substituição de silagem de milho sem espigas por palma forrageira e bagaço de cana sobre o consumo de nutrientes.....	33
Tabela 4. Efeitos dos níveis de substituição de silagem de milho sem espigas por palma forrageira e bagaço de cana sobre a digestibilidade aparente dos nutrientes da dieta (g/kg).....	33
Tabela 5. Efeitos dos níveis de substituição de silagem de milho sem espigas por palma forrageira e bagaço de cana sobre o comportamento ingestivo de vacas holandesas.....	34
Tabela 6. Efeitos dos níveis de substituição de silagem de milho sem espigas por palma forrageira e bagaço de cana na produção e composição do leite de vacas holandesas.....	34

CAPÍTULO II

Tabela 1. Proporções dos ingredientes e composição química das dietas experimentais (g/kg MS).....	48
Tabela 2. Efeitos dos níveis de substituição de SMSE por PF e BC sobre a produção e composição do leite de vacas.....	51
Tabela 3. Efeitos dos níveis de substituição de SMSE por PF e BC sobre o perfil de ácidos graxos (AG) do leite (g/100 g de AG totais) de vacas.....	51
Tabela 4. Efeitos dos níveis de substituição de SMVSE por PF e BC sobre a proporção de ácidos graxos (AG) C18 na gordura do leite (g/100 g de AG totais) de vacas.....	53
Tabela 5. Efeitos dos níveis de substituição de SMSE por PF e BC sobre as proporções dos principais grupos de ácidos graxos (AG) (g/100 g de AG total), relações de AG e índices de estearoil-CoA dessaturase 1 (SCD-1) na gordura do leite de vacas.....	54

Sumário

1. INTRODUÇÃO GERAL	12
2. PRODUÇÃO DE LEITE NO SEMIÁRIDO	14
3. SILAGEM DE MILHO SEM ESPIGAS (SMSE)	15
4. BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR	16
5. PALMA FORRAGEIRA	17
6. DEPRESSÃO DA GORDURA DO LEITE (DGL)	18
Referências	20
CAPÍTULO I_ Palma forrageira e bagaço de cana podem substituir parcialmente silagem de milho sem espigas em dietas de vacas leiteiras em lactação	24
1. INTRODUÇÃO	27
2. MATERIAL E MÉTODOS	28
2.1 Animais e dietas	28
2.2. Ensaio de ingestão e digestibilidade de nutrientes	30
2.3. Rendimento e composição química do leite	30
2.4. Comportamento ingestivo	31
2.5. Análises Químicas	31
2.6. Cálculos	32
2.7. Análise Estatística	32
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4. CONCLUSÃO	38
Referências	39
CAPÍTULO II - A substituição da silagem de milho sem espigas por palma forrageira e bagaço de cana aumenta os níveis dos ácidos vaccênico e rumênico no leite de vacas holandesas	43
1. INTRODUÇÃO	46
2. MATERIAL E MÉTODOS	47
2.1. Animais e dietas	47
2.2. Amostragem e análise de leite	49
2.3. Análise estatística	50
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4. CONCLUSÃO	58
Referências	59

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Agreste de Pernambuco está situado na região intermediária entre o Sertão e a Zona da Mata do estado. A principal atividade agropecuária dessa mesorregião é a produção de leite bovino, sendo conduzida, em sua maioria, por produtores familiares (RAMOS et al., 2018). Se constitui também como a principal bacia leiteira do estado, responsável por 73,7% da produção total de leite do Pernambuco (IBGE, 2019).

Vale ressaltar que, para que haja produção satisfatória de leite, as vacas necessitam, dentre outras coisas, consumir alimentos volumosos de qualidade. Fato que, muitas vezes se apresenta como entrave em regiões semiáridas, tendo em vista a dificuldade de produção devido à baixa pluviosidade anual.

Neste cenário, característico do semiárido, com irregularidade na distribuição das chuvas tanto no tempo quanto no espaço, a Caatinga, vegetação natural predominante, torna-se insuficiente para a alimentação dos rebanhos durante os longos períodos de estiagem (FERREIRA et al., 2009). Em vista disso, se faz necessário buscar alternativas alimentares a fim de suprir as necessidades nutricionais dos animais.

Nos períodos de déficit forrageiro, a utilização de forragens conservadas (silagem, feno) surge como estratégia capaz de garantir a alimentação e a estabilidade nos diferentes sistemas de produção de ruminantes (FLUCK et al., 2018).

O uso de forragens conservadas, como a silagem, possibilita o aproveitamento da forragem produzida durante o período das chuvas (SÁ et al., 2021). Porém, devido às condições edafoclimáticas do semiárido, a conservação de forragens ainda é limitada (SIQUEIRA et al., 2019).

E ainda, conservar forragens na forma de silagem nem sempre é uma tarefa fácil. Já que, de acordo com Santos et al. (2010) as lavouras de milho plantadas no sistema de sequeiro no semiárido brasileiro, seja para silagem ou para grãos, geram um desafio para os agricultores, devido a frequente escassez e irregularidade das chuvas, gerando um déficit hídrico que pode reduzir severamente a produtividade da lavoura e, conseqüentemente, a produção de forragem disponível para ser ensilada. Fatos que, normalmente, elevam os custos de produção de silagem.

Diante deste cenário, torna-se fundamental a adoção de culturas forrageiras tolerantes às condições adversas, a fim de garantir a segurança alimentar dos animais no período crítico. Nesse contexto, a palma forrageira vem sendo amplamente utilizada em regiões áridas e

semiáridas no mundo todo (OLIVEIRA et al., 2018). Mesmo sob estresse hídrico, apresenta alta palatabilidade e elevada produção de matéria verde, cerca de 400 toneladas a cada dois anos (LEITE et al., 2014; SALEM, 2010; SANTOS et al., 2010).

Embora a palma forrageira seja rica em água (90%) e energia (64% de nutrientes digestíveis totais), apresenta baixo teor de fibra (28%) e proteína (5%), restringindo sua inclusão na dieta de ruminantes (CQBAL 4.0, 2018; SIQUEIRA et al., 2019). Entretanto, esses déficits podem ser corrigidos com a inclusão de uma fonte de nitrogênio não proteico, como ureia e uma fonte de volumoso rico em fibra em detergente neutro (FDN) fisicamente efetiva (SIQUEIRA et al., 2019). Nesse cenário, o uso de resíduos agroindustriais ricos em fibras, como milho, aveia, palha de trigo e bagaço de cana-de-açúcar, pode ser uma alternativa viável para equilibrar o baixo teor de FDN de dietas à base de palma forrageira (ALMEIDA et al., 2018).

Com cerca de 719,1 milhões de toneladas produzidas anualmente, o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (HOFSETZ; SILVA, 2012). Assim, o bagaço de cana-de-açúcar, resultante da moagem da cana durante a extração ou transformação direta do álcool, é um dos principais resíduos agroindustriais do processamento da cana-de-açúcar (COSTA et al., 2015). É tido como um volumoso de baixa qualidade, com cerca de 40% de fibra indigerível, e baixo teor de proteína bruta (PB, 2%), porém, uma das suas principais vantagens é a disponibilidade em épocas de escassez de forragem e baixo custo em comparação com outras fontes convencionais de volumoso (BARROS et al., 2010).

Além dos benefícios já conhecidos e acima citados, Gama et al. (2020) avaliaram o efeito da substituição parcial da silagem de sorgo por palma orelha de elefante mexicana (*Opuntia stricta* [Haw.]) em dietas suplementadas com óleo de soja e observaram o potencial dessa variedade de palma forrageira em modificar o perfil de ácidos graxos do leite de vacas, elevando os teores de C18:1 trans-11, CLA cis-9, trans-11 e C18:2 n-6. Esses mesmos autores associaram os efeitos benéficos na composição de ácidos graxos do leite à composição única da palma, como a presença de quantidades significativas de mucilagem, pectina e numerosos compostos fenólicos, que podem modular a composição da microbiota ruminal e / ou a dinâmica das partículas no rúmen em uma forma que favorece o fluxo de C18:1 trans-11 e ácidos graxos poli-insaturados dietético para a glândula mamária.

Assim, a partir do tema abordado, duas hipóteses foram formuladas: na primeira hipótese acredita-se que seja possível substituir a silagem de milho sem espigas pela mistura palma forrageira e bagaço de cana-de-açúcar, sem prejudicar o desempenho de vacas

holandesas em fase de lactação. A segunda hipótese pressupõe que as dietas com níveis da mistura palma mais bagaço favoreça maior aporte de ácidos graxos para a glândula mamária, resultando em elevação nos teores de ácidos graxos poli-insaturados e ácido linoleico conjugado (CLA) no leite.

2. PRODUÇÃO DE LEITE NO SEMIÁRIDO

A produção de leite desempenha um papel crucial na economia e na subsistência de comunidades ao redor do mundo, principalmente em países em desenvolvimento (OGUNDEJI et al., 2021). Estima-se que há cerca de 150 milhões de famílias no planeta envolvidas com a atividade (FAO, 2020). No entanto, quando se trata de regiões semiáridas, como é o caso de grande parte da região Nordeste do Brasil e em outras partes do planeta, os desafios enfrentados pelos produtores de leite são ainda mais complexos.

Os sistemas de produção de leite desempenham um papel crucial nas regiões áridas, destacando-se por sua significativa importância social, cultural e econômica (SILVEIRA et al., 2022). Esses sistemas desempenham um papel vital ao garantir a segurança alimentar e nutricional, além de servirem como uma fonte crucial de renda para as famílias locais (SILVEIRA et al., 2022).

Nessas regiões, a produção de leite muitas vezes representa uma alternativa viável para a diversificação das atividades agrícolas, especialmente em momentos de estiagem prolongada que afetam a produção de outros alimentos.

A produção de leite em regiões semiáridas é marcada por uma série de desafios, entre os quais a escassez de água se destaca como um dos principais. A irregularidade das chuvas nessas áreas dificulta o acesso à água, um elemento essencial para a criação e manutenção do gado leiteiro.

Outro desafio significativo é a escassez de forragem para alimentar o gado. As condições climáticas adversas tornam a produção de alimentos para os animais uma tarefa árdua, levando os produtores a buscarem alternativas como a introdução de espécies resistentes à seca e práticas de manejo do solo que maximizem a produção de forragem.

Além dos desafios climáticos, os produtores de leite nessas regiões enfrentam questões relacionadas à infraestrutura, acesso a crédito e assistência técnica limitada (AGUIAR et al., 2020). A falta de investimento nessas áreas pode comprometer a capacidade dos produtores de

adotar tecnologias modernas e boas práticas agrícolas, e até mesmo levar alguns produtores a desistirem da atividade.

O perfil desses produtores se caracteriza, em sua maioria, por pequenas propriedades (menor que 100 hectares), baixo nível de escolaridade e mão-de-obra familiar, baixo nível de assistência técnica, pouco armazenamento de forragem na época das chuvas, e suplementação mineral dos rebanhos feita de forma inadequada (SANTOS; AZEVEDO, 2009).

A produção de leite em regiões semiáridas representa um desafio constante, mas também oferece oportunidades significativas para o desenvolvimento sustentável. No semiárido, a escassez de forragem durante a época seca do ano representa um desafio significativo para a pecuária, demandando soluções criativas e eficazes para garantir a alimentação do gado. Nesse contexto, diversas alternativas têm sido exploradas, entre elas a produção de silagem de milho, o aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar e o cultivo da palma forrageira.

3. SILAGEM DE MILHO SEM ESPIGAS (SMSE)

O milho representa a cultura temporária predominante no semiárido brasileiro, sendo empregado tanto na alimentação humana quanto na nutrição animal (NOGUEIRA *et al.*, 2023).

Na região Nordeste brasileira o cultivo do milho para a produção de espigas verdes é uma tradição, principalmente entre os agricultores familiares (CAVALCANTE FILHO *et al.*, 2022). A produção se concentra mais em pequenas propriedades, com 1 a 10 hectares (NASCIMENTO *et al.*, 2017).

O cultivo de milho para venda das espigas verdes e da biomassa restante, pode resultar em mais uma fonte de renda para o produtor rural (SANTOS *et al.*, 2018).

As espigas são colhidas quando os grãos estão na fase leitosa, contendo cerca de 70 a 80% de umidade (ANDRADE, 2018). Durante a colheita de milho verde, é comum que nem todas as espigas atinjam os padrões comerciáveis, resultando em uma produção de palha e espigas de refugo. Esses resíduos podem ser reaproveitados como uma fonte de adubação orgânica ou como alimento para animais.

Uma maneira estratégica de aproveitar os resíduos culturais provenientes das áreas de produção de milho verde é por meio da ensilagem, cujo produto final é destinado à alimentação de ruminantes (OLIVEIRA *et al.*, 2020). Isso não apenas gera uma renda adicional para a propriedade, mas também promove um manejo sustentável da produção agrícola.

A confecção de silagem de milho sem espigas é uma prática relativamente comum no semiárido brasileiro. Normalmente, ela é produzida por agricultores que têm, como atividade principal, a venda de espigas verdes, e aproveitam o material restante após a colheita das espigas para produzir silagem e comercializar em feiras de gado municipais ou no próprio estabelecimento rural. Ou, por produtores rurais que vendem as espigas verdes e utilizam o restante da planta para produzir silagem e utilizá-la para os próprios animais.

Porém, se comparada à silagem de milho, a qualidade da silagem de milho sem espigas (SMSE) é inferior: 7,8 e 5,95% de proteína bruta (PB); 49,7 e 69,34% de fibra em detergente neutro (FDN) e 63,6 e 46,66% de digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS), respectivamente (FERREIRA *et al.*, 2013; GARCÍA-CHÁVEZ *et al.*, 2022).

4. BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

O bagaço de cana-de-açúcar, rico em lignina, celulose e hemicelulose, é o resíduo obtido após a extração do caldo da cana-de-açúcar para a produção de açúcar e etanol (COSTA *et al.*, 2015). O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com estimativa de produção de cerca de 610,1 milhões de toneladas na safra 2022/2023 (CONAB, 2023), com 9,2% dessa produção ocorrendo no Nordeste. Cada tonelada de cana-de-açúcar gera, aproximadamente, 280 kg de bagaço (CRUZ *et al.*, 2021), que possui diversas finalidades, dentre elas, a nutrição animal.

Normalmente, o bagaço de cana-de-açúcar é abundante em épocas de escassez de forragem e, muitas vezes, é menos dispendioso, se comparado a fontes convencionais de forragem (DANIEL *et al.*, 2013; ALMEIDA *et al.*, 2018). Porém, possui baixo valor nutritivo, com mais de 80% de FDN e cerca de 1,5% de PB na MS (MOLAVIAN *et al.*, 2020). Portanto, ao incorporá-lo nas dietas, é necessário incluir elevadas quantidades de concentrados energéticos (ou palma forrageira) e proteicos.

Almeida *et al.* (2018) usaram o bagaço de cana-de-açúcar, como volumoso exclusivo, em dietas para vacas em lactação, aos níveis de 45, 50, 55 e 60% da MS e uma dieta controle, à base de palma forrageira, bagaço de cana (25% da MS) e concentrado. Observaram que os níveis de 55 e 60% reduziram o consumo e a digestibilidade da matéria seca, e a produção de leite. E concluíram que o bagaço de cana reduz a produção de leite; porém, os níveis de 45 e 50% podem substituir dietas à base de palma forrageira para vacas da raça Girolando, produzindo 12 kg/dia leite.

Freitas *et al.* (2018) avaliaram o efeito de diferentes níveis de bagaço de cana-de-açúcar (30, 38, 46 e 54% da MS), como volumoso exclusivo para vacas em lactação, e uma dieta controle (30% bagaço de cana e 40% palma forrageira, como volumosos). O consumo e digestibilidade da MS diminuíram linearmente. A maior produção de leite corrigida para 3,5% de gordura foi obtida com 30% de bagaço de cana (22,7 kg/dia), e a menor com 54% de bagaço (16,5 kg/dia). Logo, os autores concluíram que a inclusão do bagaço de cana-de-açúcar, em níveis elevados, reduz o desempenho de vacas Girolando produzindo 20 kg de leite ao dia. Porém, o bagaço pode ser usado em dietas com 70% de concentrado.

5. PALMA FORRAGEIRA

A palma forrageira é uma planta de grande importância, especialmente em regiões semiáridas, devido à sua resistência à seca e ao seu valor nutricional. É fonte de água e energia para ruminantes, principalmente durante a estação seca do ano.

A palma forrageira, originária do México, faz parte da família botânica Cactaceae, que abriga aproximadamente 130 gêneros e mais de 1.400 espécies. No Brasil, os gêneros mais reconhecidos e empregados são *Opuntia* spp. e *Nopalea* spp. (MACÊDO *et al.*, 2020). É uma planta que está integrada à paisagem do semiárido nordestino brasileiro.

A palma possui um metabolismo do tipo CAM (Metabolismo Ácido das Crassuláceas), o que significa que ela acumula dióxido de carbono durante o dia e o fixa, liberando água através das aberturas estomáticas durante a noite. Esse processo permite uma eficiência elevada na utilização de água e nutrientes, resultando em baixos índices de evapotranspiração. No entanto, para atingir esse desempenho, são necessárias baixas temperaturas noturnas e uma quantidade adequada de umidade relativa do ar. Em regiões de baixa altitude, a palma pode apresentar um desempenho produtivo inferior (ROCHA, 2012).

Para que a palma alcance seu pleno desenvolvimento, é necessário que o local de cultivo apresente temperaturas situadas entre 16 a 25°C, com máximas variando de 28 a 31°C, e mínimas entre 8 a 20°C. Além disso, a faixa pluviométrica ideal para o cultivo varia de 400 a 800 mm anual (LOPES; VASCONCELOS, 2012).

A palma, de maneira geral, possui em sua composição química altas concentrações de água (90%), carboidratos não-fibrosos (54%) e nutrientes digestíveis totais (64%). Porém, apresenta baixas concentrações de fibra em detergente neutro (26%) e proteína bruta (6%) (CQBAL, 2018).

De acordo com Silva e Santos (2007), um aspecto crucial da palma é que, ao contrário de outras forragens, ela demonstra uma elevada taxa de degradação ruminal. Sua matéria seca é degradada de maneira abrangente e rápida, promovendo uma maior taxa de passagem e, por conseguinte, um consumo semelhante ao dos concentrados.

Outro aspecto importante a ser considerado é que a presença da palma na dieta dos ruminantes em períodos de estiagem ajuda os animais a suprir grande parte da água requerida.

Por fim, outro ponto de destaque da palma forrageira é a sua relação com fontes de gordura, como óleos vegetais ou o próprio gérmen integral extragordo de milho. A palma Orelha-de-Elefante Mexicana, demonstra potencial para aumentar os teores de C18:1 *trans*-11, CLA *cis*-9, *trans*-11 e C18:2 n-6 no leite de vacas suplementadas com dieta enriquecida com óleos vegetais (GAMA *et al.*, 2020). Esses efeitos positivos na composição de ácidos graxos do leite parecem estar ligados à composição única da palma, que inclui quantidades significativas de mucilagem, pectina e diversos compostos fenólicos. Esses componentes podem modular a composição da microbiota ruminal, favorecendo o fluxo de C18:1 *trans*-11 e ácidos graxos poli-insaturados dietéticos em direção à glândula mamária (GAMA *et al.*, 2020). Em resumo, a inclusão da palma na alimentação pode ser um recurso valioso para aprimorar o valor nutracêutico do leite e seus derivados.

6. DEPRESSÃO DA GORDURA DO LEITE (DGL)

A depressão da gordura do leite (DGL) provocada pela dieta em bovinos leiteiros é tipicamente caracterizada por uma diminuição no teor (g/100g) e na produção (kg/dia) de gordura no leite, acompanhada de mudanças nas vias de biohidrogenação ruminal (BH), sem afetar a produção ou outros componentes do leite (BAUMAN; GRIINARI, 2001). O ponto em comum nas condições de DGL provocadas pela dieta é a modificação nas vias de biohidrogenação (BH), frequentemente envolvendo a conhecida mudança de *trans*-11 para *trans*-10 (ALVES; BESSA, 2014).

As dietas que induzem a DGL podem ser categorizadas em dois grandes grupos: (1) dietas com alta proporção de carboidratos de rápida fermentação (CRF), baixa quantidade de fibra em detergente neutro fisicamente efetiva (FDNfe), ou ambas, e (2) dietas que são complementadas com AGI (ácidos graxos insaturados), especialmente lipídios marinhos que contêm ácido eicosapentaenoico (EPA, C20:5 n-3) e ácido docosahexaenoico (DHA, C22:6 n-3; BAUMAN; GRIINARI, 2003).

A teoria da BH propõe que a DGL induzida pela dieta resulta da complexa interação entre os processos digestivos no rúmen e o metabolismo do tecido mamário (BAUMAN; GRIINARI, 2003; HARVATINE; BOISCLAIR; BAUMAN, 2009). Dietas conhecidas por causar DGL promovem alterações nas vias de BH dos AGPI da dieta, direcionando-os para a formação de intermediários específicos de ácidos graxos (AG). Posteriormente, esses intermediários são absorvidos no duodeno e transportados para a glândula mamária pela corrente sanguínea, onde alguns deles podem inibir a síntese de gordura do leite.

Os principais intermediários de biohidrogenação associados a DGL são: CLA *trans*-10, *cis*-12; C18:1 *trans*-10; CLA *trans*-9, *cis*-11.

Compreender os mecanismos microbianos subjacentes à DGL induzida pela dieta parece ser um desafio. Existem potenciais estratégias para mitigar a DGL, como a suplementação de estabilizadores ruminais (2-hidroxi-4-metiltiobutanoato, HMTBa), a seleção de animais mais tolerantes, a aplicação de um manejo personalizado para vacas em risco de DGL, a escolha de vacas com uma digestão de fibras mais eficaz, a adoção de uma alimentação com menor teor de concentrados e grãos e a utilização de palma forrageira nas dietas.

Referências

- ALMEIDA, G. A. P. *et al.* Sugarcane bagasse as exclusive roughage for dairy cows in smallholder livestock system. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 31, n. 3, p. 379–385, 2018.
- ALVES, S. P.; BESSA, R. J. B. The *trans*-10, *cis*-15 18:2: a Missing Intermediate of *trans*-10 Shifted Rumen Biohydrogenation Pathway? **Lipids**, v. 49, n. 6, p. 527–541, 2014.
- ANDRADE, M. M. **Cultivares de milho verde irrigado por pivô central cultivado em diferentes espaçamentos e níveis de desfolha em domínio de Cerrado**. Dissertação (Mestrado em irrigação no Cerrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Ceres. Ceres, p. 58, 2018.
- BARROS, R. C. *et al.* Viabilidade econômica da substituição da silagem de sorgo por cana-de-açúcar ou bagaço de cana amonizado com ureia no confinamento de bovinos. **Rev. Bras. Saúde Prod. An.**, v.11, n.3, p.555-569, 2010.
- BAUMAN, D. E.; GRIINARI, J. M. Regulation and nutritional manipulation of milk fat: low-fat milk syndrome. **Livestock Production Science**, v. 70, n. 1-2, p. 15–29, 2001.
- BAUMAN, D. E.; GRIINARI, J. M. NUTRITIONAL REGULATION OF MILK FAT SYNTHESIS. **Annual Review of Nutrition**, v. 23, n. 1, p. 203–227, 2003.
- CAVALCANTE FILHO, H. A. *et al.* Performance of maize cultivars for the production of sweet corn, baby corn, and fodder. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 21, n. 4, 2022.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira – cana-de-açúcar: Quarto levantamento, abril 2023 – safra 2022/2023**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>>. Acesso em: 29 mai. 2023.
- COSTA, D. A. *et al.* By-products of sugar cane industry in ruminant nutrition. **IJAAR**, v. 3, p. 1–9, 2015.
- CRUZ, M. A. DA *et al.* Análise da viabilidade do uso de resíduos de cana-de-açúcar para produção de aglomerantes sustentáveis. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, n. 4, 2021.
- DANIEL, J. L. P. *et al.* Fibre digestion potential in sugarcane across the harvesting window. **Grass and Forage Science**, v. 69, n. 1, p. 176–181, 2013.

FAO. **Dairy production and products: Production**. 2020. Disponível em: <<https://www.fao.org/dairy-production-products/production/en/>>. Acesso em: 10 de jan. 2024.

FERREIRA, G. D. G. et al. Nutritional value of ten earless corn hybrids used for silage. **Rev. Colomb. Cienc. Pecu.**, v. 26, p. 255–262, 2013.

FERREIRA, M. A. et al. Estratégias na suplementação de vacas leiteiras no semi-árido do Brasil. **R. Bras. Zootec.**, v.38, p.322-329, 2009.

FLUCK, A. C. et al. Composição química da forragem e do ensilado de azevém anual em função de diferentes tempos de secagem e estádios fenológicos. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.70, n.6, p.1979-1987, 2018.

FREITAS, W. R. *et al.* Sugarcane bagasse as only roughage for crossbred lactating cows in semiarid regions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 3, p. 386–393, 2018.

GAMA, M. A S et al. Partially replacing sorghum silage with cactus (*Opuntia stricta*) cladodes in a soybean oil-supplemented diet markedly increases *trans* -11 18:1, *cis* -9, *trans* -11 CLA and 18:2 n-6 contents in cow milk. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 105, n. 2, p. 232–246, 2020.

GARCÍA-CHÁVEZ, I. et al. Corn silage, a systematic review of the quality and yield in different regions around the world. **Ciencia y Tecnología Agropecuaria**, v. 23, n. 3, 2022.

HARVATINE, K. J.; BOISCLAIR, Y. R.; BAUMAN, D. E. Recent advances in the regulation of milk fat synthesis. **Animal**, v. 3, n. 1, p. 40–54, 2009.

HOFSETZ, K.; SILVA, M. A. Brazilian sugarcane bagasse: Energy and non-energy consumption. **Biomass and Bioenergy**, v. 46, p. 564–573, 2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Pecuária Municipal**. 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-epecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=resultados>>. Acesso em: 14 de ago. de 2021.

LEITE, M. L. M. V. et al. Caracterização da produção de palma forrageira no Cariri paraibano. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 2, p. 192-200, 2014.

LOPES, E.B.; VASCONCELOS, M.F. Zoneamento agrícola de risco climático para a cultura

de palma forrageira no estado da Paraíba. In: LOPES, E.B. (Ed.). **Palma forrageira: cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no semiárido Nordeste**. João Pessoa: EMEPA/FAEPA, 2012. p. 169–202.

MACÊDO, A. J. DA S. et al. A CULTURA DA PALMA, ORIGEM, INTRODUÇÃO, EXPANSÃO, UTILIDADES E PERSPECTIVAS FUTURAS: REVISÃO DE LITERATURA. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 62967–62987, 2020.

MOLAVIAN, M. *et al.* Substitution of wheat straw with sugarcane bagasse in low-forage diets fed to mid-lactation dairy cows: Milk production, digestibility, and chewing behavior. **Journal of Dairy Science**, v. 103, n. 9, p. 8034–8047, 2020.

NASCIMENTO, F. N. *et al.* DESEMPENHO DA PRODUTIVIDADE DE ESPIGAS DE MILHO VERDE SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 1, p. 94, 7 nov. 2017.

NOGUEIRA, D. B. *et al.* Dry spells in a semi-arid region of Brazil and their influence on maize productivity. **Journal of Arid Environments**, v. 209, p. 104892, 2023.

OGUNDEJI, A. A. et al. Influence of heat stress on milk production and its financial implications in semi-arid areas of South Africa. **Heliyon**, v. 7, n. 2, 2021.

OLIVEIRA, J. P. F. et al. Carcass characteristics of lambs fed spineless cactus as a replacement for sugarcane. **Asian-australasian Journal of Animal Sciences**, v. 31, n. 4, p. 529–536, 2018.

ROCHA, J. E. S. **Palma Forrageira no Nordeste do Brasil: Estado da Arte**. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/96744/1/DOC-106.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

OLIVEIRA, E. J. *et al.* Morfofisiologia e produção de milho-verde cultivado sob diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio nas condições do cerrado goiano, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. e6179108857, 11 out. 2020.

RAMOS, J. E. S. et al. **Eficiência técnica e desempenho econômico de produtores de leite no Agreste Pernambucano**. 2018.

SÁ, M. K. N. et al. Silagem de palma forrageira com *Gliricidia Sepium*: alternativa alimentar para o Semiárido. **Research, Society and Development**, v. 10, 2021.

SALEM, H. B. Nutritional management to improve sheep and goat performances in semiarid regions. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 337–347, 2010.

SANTOS, M V. F. et al. Potential of Caatinga forage plants in ruminant feeding. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.204-215, 2010.

SANTOS, P. L. S.; AZEVEDO, E. O. PERFIL SÓCIO-ECONÔMICO DE PRODUTORES DE LEITE DO ESTADO DA PARAIBA, BRASIL. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 4, p. 260–267, 2009.

SANTOS, R. D. et al. Características agronômicas de variedades de milho para produção de silagem. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 32, n. 4, 2010.

SANTOS, S. L. L. *et al.* Milho (*Zea mays*) para forragem: métodos de manejo de plantas daninhas e níveis de adubação. **Acta Iguazu**, v. 7, n. 1, p. 32–50, 2018.

SILVA, C.C.F.; SANTOS, L.C. Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) como alternativa na alimentação de ruminantes. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v. 8, n. 5, p. 1-13, 2007.

SILVEIRA, R. M. F. et al. Diversity in smallholder dairy production systems in the Brazilian semiarid region: Farm typologies and characteristics of raw milk and water used in milking. **Journal of Arid Environments**, v. 203, 2022.

SIQUEIRA, T. D. Q. et al. Cactus cladodes associated with urea and sugarcane bagasse: an alternative to conserved feed in semi-arid regions. **Tropical Animal Health and Production**, v. 51, n. 7, p. 1975–1980, 2019.

VALADARES FILHO, S.C. *et al.* CQBAL 4.0. **Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Ruminantes**. 2018. Disponível em: <<https://www.cqbal.com.br>>. Acesso em: 28. Nov. 2023.

CAPÍTULO I

Palma forrageira e bagaço de cana podem substituir parcialmente silagem de milho sem espigas em dietas de vacas leiteiras em lactação

Resumo: este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da substituição da silagem de milho sem espiga (SMSE) por palma forrageira (PF; *Opuntia* spp.) e bagaço de cana-de-açúcar (BC) sobre o consumo de nutrientes, digestibilidade, comportamento ingestivo, produção de leite (PL) e composição do leite de vacas leiteiras. Dez vacas holandesas, pesando $571 \pm 97,0$ kg e produzindo $23,0 \pm 4,4$ kg de leite por dia, foram distribuídas em dois quadrados latinos 5×5 simultâneos. Os tratamentos consistiram em cinco níveis de substituição de SMSE por PF e BC (0, 25, 50, 75 e 100%). Os resultados mostraram aumento linear no consumo de matéria seca (MS) ($p < 0,05$) ($15,98$ e $18,73$ kg/dia) e aumento quadrático ($p < 0,05$) no consumo de proteína bruta e energia ($2,97$ kg/dia e $27,52$ Mcal/dia, com 95,4 e 88,6% de substituição, respectivamente). A digestibilidade aparente da MS aumentou ($p < 0,05$), mas a digestibilidade da fibra diminuiu linearmente ($p < 0,05$). Os tratamentos tiveram efeito quadrático ($p < 0,05$) sobre PL e PL corrigido para gordura ($24,17$ kg/dia e $21,9$ kg/dia, com 63,9% e 38,6% PF e BC, respectivamente). A gordura do leite (3,26 e 2,35%) e o teor de sólidos totais diminuíram linearmente ($p < 0,05$), enquanto os percentuais de proteína, lactose e sólidos desnatados aumentaram ($p < 0,05$). Além disso, as dietas PF e BC reduziram linearmente o tempo gasto com alimentação e ruminação e o tempo total de mastigação. Para vacas holandesas alimentadas no semiárido alimentadas com dietas comuns, a produção de leite pode ser maximizada substituindo 38,6% da SMSE por PF e BC.

Palavras-chave: cactáceas; coprodutos; eficiência; energia; semiárido.

Abstract: this study aimed to evaluate the effects of replacing earless corn silage (ECS) with cactus cladodes (CC; *Opuntia* spp.) and sugarcane bagasse (SB) on nutrient intake, digestibility, feeding behavior, milk yield (MY), and composition of lactating dairy cows. Ten Holstein cows, weighing 571 ± 97.0 kg and producing 23.0 ± 4.4 kg of milk per day, were assigned to two contemporaneous 5×5 Latin squares. Treatments consisted of five levels of ECS replacement with CC plus SB (0, 25, 50, 75, and 100%). The results showed a linear increase in dry matter (DM) intake ($p < 0.05$) (15.98 and 18.73 kg/day) and a quadratic increase ($p < 0.05$) in crude protein and energy intake (2.97 kg/day and 27.52 Mcal/day at 95.4 and 88.6% substitution, respectively). Apparent DM digestibility increased ($p < 0.05$), but fiber digestibility decreased linearly ($p < 0.05$). Treatments had a quadratic effect ($p < 0.05$) on MY and fat-corrected MY (24.17 kg/day and 21.9 kg/day at 63.9% and 38.6% CC plus SB, respectively). Milk fat (3.26 and 2.35%) and total solids content decreased linearly ($p < 0.05$), whereas the percentages of protein, lactose, and nonfat solids increased ($p < 0.05$). Additionally, the CC–SB diets linearly reduced the time spent on feeding and rumination and total chewing time. For Holstein cows fed common semiarid diets, milk production can be maximized by replacing 38.6% of ECS with CC plus SB.

Key-words: cactaceae; coproducts; efficiency; energy; semiarid.

1. INTRODUÇÃO

A forragem é reconhecida como o recurso alimentar economicamente mais viável em sistemas de produção animal situados em regiões tropicais (PAULA; FERREIRA; VÉRAS, 2020). No entanto, em locais semiáridos, o desempenho do gado varia consideravelmente em resposta às flutuações na disponibilidade e qualidade dos alimentos, que são atribuíveis às condições climáticas adversas. Como resultado, os produtores geralmente recorrem à utilização de forragens conservadas, incluindo, entre outras, milho, sorgo e feno de capim Tifton, juntamente com fontes suplementares de fibra, como aveia, trigo, feijão, mandioca, cana-de-açúcar e bagaço de cana-de-açúcar, para mitigar a suscetibilidade do sistema pecuário durante períodos prolongados de seca (SIQUEIRA et al., 2022; ALMEIDA et al., 2018).

Os produtores tradicionais de silagem de milho têm comercializado a silagem de milho sem espigas (SMSE) como estratégia para aumentar sua renda, alavancando a alta demanda por milho verde no Brasil. Porém, apesar da falta de espigas, o custo de produção desta silagem é comparável ao da silagem tradicional de milho. Normalmente, as culturas convencionais de milho acarretam custos de implementação substanciais e exigem um abastecimento de água significativo, o que pode sobrecarregar o sistema de produção.

A palma forrageira (PF, *Opuntia* sp. e *Nopalea* sp.) destacam-se como um dos principais recursos forrageiros nas regiões semiáridas, muitas vezes referida como “a rainha das plantas forrageiras” (ROCHA FILHO et al., 2021). Esses cactos possuem atributos notáveis, como alto potencial de rendimento e conteúdo substancial de energia e água. No entanto, os baixos níveis de fibra e proteína na PF necessitam de correção ao incorporá-lo nas dietas de animais ruminantes, independentemente do gênero da PF (BATISTA et al., 2009; FERREIRA et al., 2022). O bagaço de cana-de-açúcar (BC), subproduto do setor do agronegócio, surgiu como uma excelente opção para abordar o baixo teor de fibra da PF e fornecer fibra fisicamente eficaz para rebanhos leiteiros em regiões semiáridas. Seu apelo reside na sua acessibilidade e maior disponibilidade, especialmente durante a estação seca (SIQUEIRA et al., 2022).

O bagaço de cana-de-açúcar está amplamente disponível no Brasil devido à ampla distribuição de usinas de processamento de cana-de-açúcar, inclusive em estados inseridos no semiárido. Cada tonelada de cana-de-açúcar processada rende cerca de 0,3 tonelada de bagaço, que pode ser usado como volumoso barato para a produção de gado. Entretanto, sua utilização como fonte de volumoso tem sido amplamente investigada e visa melhorar o desempenho da pecuária de corte. Trabalhos anteriores (ALMEIDA et al., 2018; SIQUEIRA et al., 2022) demonstraram que o bagaço da cana-de-açúcar poderia ser utilizado como fonte exclusiva de

volumoso para gado de corte. Assim, a combinação de bagaço de cana e palma pode ser uma opção atraente para a alimentação do gado leiteiro em regiões semiáridas, especialmente para fazendas leiteiras localizadas nas proximidades de indústrias sucroalcooleiras (FREITAS et al., 2018).

Portanto, levantamos a hipótese de que PF e BC podem substituir parcial ou totalmente a SMSE nas dietas de vacas leiteiras sem comprometer o desempenho da lactação. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da substituição de SMSE por PF e BC no consumo e digestibilidade dos nutrientes, produção e composição do leite e comportamento ingestivo de vacas holandesas em lactação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Animais e dietas

O experimento foi conduzido na Estação Experimental de São Bento do Una (São Bento do Una, Brasil) do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) de acordo com as orientações e recomendações do Comitê de Ética em Estudos Animais da Universidade Federal Rural de Pernambuco (licença nº 4997300322).

Dez vacas holandesas com peso corporal médio inicial de $571 \text{ kg} \pm 97,0 \text{ kg}$ (média \pm desvio padrão), produção de leite de $23,0 \pm 4,4 \text{ kg/dia}$ e 109 ± 18 dias em lactação foram distribuídas em dois quadrados latinos 5×5 simultâneos. O experimento foi conduzido durante 105 dias e dividido em cinco períodos experimentais de 21 dias. As vacas foram adaptadas à dieta durante os primeiros 14 dias de cada período (período de adaptação), e os 7 dias restantes foram utilizados para avaliação e coleta de amostras (período de amostragem).

As vacas foram alojadas em baias individuais equipadas com comedouro e tiveram acesso ad libitum à água doce. A composição química e o valor nutricional dos ingredientes dietéticos são mostrados na tabela 1. Os tratamentos consistiram de cinco dietas experimentais contendo diferentes níveis de palma forrageira (PF, *Opuntia stricta* [Haw]. Haw) e bagaço de cana-de-açúcar (BC) em substituição à silagem de milho sem espigas (SMSE; tabela 2). As dietas foram formuladas para atender às exigências nutricionais de vacas em lactação com peso corporal médio de 570 kg e produção média de leite (PL) de $23,0 \text{ kg/dia}$ com 3,5% de gordura (NRC, 2001).

Tabela 1. Composição química dos ingredientes das dietas experimentais (g/kg de MS).

Item ¹	Palma	SMSE ²	BC	Farelo trigo	Milho grão	Protenose	Refinazil	GIEM ³
MS	139.7	293.2	657.8	882.2	884.1	921.7	887.8	956.7
MO	919.5	938.7	947.6	945.0	986.1	925.5	917.6	991.9
PB	54.0	65.2	16.1	165.0	89.0	660.7	262.8	108.1
EE	16.7	19.5	7.9	34.7	42.6	22.6	28.0	473.9
FDNcp	280.0	615.9	799.4	386.8	117.4	65.3	357.0	247.0
CNF	568.7	238.1	124.1	358.5	737.0	177.0	269.9	162.9
FDNi	56.5	177.8	485.6	128.0	21.2	19.6	44.6	36.5

¹MS – Matéria seca; MO – Matéria orgânica; PB – Proteína bruta; EE – extrato etéreo; FDNcp – Fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e compostos nitrogenados; CNF – Carboidratos não fibrosos; FDNi – Fibra em detergente neutro indigestível; ² Silagem de milho sem espigas; ³ Gérmen integral extragordo de milho.

Tabela 2. Proporções dos ingredientes e composição química das dietas experimentais (g/kg MS).

Ingredientes	Níveis de substituição (%)				
	0	25	50	75	100
Silagem de milho sem espigas	590.8	443.1	295.4	147.7	0.0
Bagaço de cana	0.0	70.9	141.8	212.7	283.6
Palma forrageira	0.0	76.8	153.2	229.6	306.0
Farelo de trigo	83.1	83.1	83.1	83.1	83.1
Milho grão	77.1	71.1	65.5	59.9	54.5
GIEM ¹	72.2	76.5	80.9	85.2	89.5
Refinazil	81.9	81.9	81.9	81.9	81.9
Protenose	71.7	71.7	71.7	71.7	71.7
Ureia/sulfato de amônio ²	3.0	4.6	6.2	7.8	9.4
Sal comum	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
Mistura mineral ³	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2
Composição química					
Máteria seca ⁴	403.7	376.6	354.0	334.4	318.2
Matéria orgânica	922.1	921.6	920.9	920.1	919.5
Proteína bruta	144.0	144.2	143.0	143.1	143.3
Extrato etéreo	55.9	56.5	57.3	58.1	58.9
FDNcp ⁵	456.9	444.4	431.9	419.5	407.0
Carboidratos não-fibrosos	394.9	406.3	417.3	428.3	439.3
FDNi ⁶	124.5	138.5	151.9	164.6	177.4
Nutrientes digestíveis totais	637.6	653.2	669.5	684.4	664.9
Energia líquida Lactação (Mcal/kg MS)	1.44	1.48	1.52	1.56	1.51

¹Gérmen integral extragordo de milho. ²Ureia + sulfato de amônio na proporção de 9:1. ³Componentes: fosfato bicálcico, calcário, sal comum, flor de enxofre, sulfato de zinco, sulfato de cobre, sulfato de

manganês, iodato de potássio e selenito de sódio. ⁴g/kg de matéria natural. ⁵Fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteínas. ⁶Fibra em detergente neutro indigestível.

A variedade de palma selecionada para este estudo foi a orelha-de-elefante mexicana, cultivada no local experimental em arranjo denso (1 m x 0,25 m de espaçamento entre plantas) e colhida após um período de crescimento de dois anos. As raquetes de palma foram processadas utilizando um triturador conjugado modelo MC-1001N (Laboremus, Campina Grande, Paraíba, Brasil), obtendo-se um material com granulometria média de 5 cm. Da mesma forma, a SMSE utilizado neste estudo foi produzido no local, enquanto o BC foi adquirido de uma usina de processamento de cana-de-açúcar localizada na Lagoa de Itaenga/PE. O bagaço de cana apresentou granulometria entre 8 e 1,18 mm.

A dieta foi fornecida como ração total mista (TMR) e dividida em duas refeições iguais às 07h00 e às 16h00, permitindo a ingestão *ad libitum* de 5 a 10% da MS total oferecida como sobras alimentares. A PF foi misturada aos demais ingredientes imediatamente após a trituração, antes das ordenhas da manhã e da tarde.

2.2. Ensaio de ingestão e digestibilidade de nutrientes

A ração oferecida e as sobras foram pesadas e registradas diariamente, do 15º ao 21º dia de cada período experimental, para estimar o consumo de nutrientes. Amostras de alimentos e sobras foram coletadas durante todo o período de amostragem, e amostras de sobras individuais foram compostas para posteriores análises químicas. Posteriormente, as amostras foram pré-secas em estufa com ventilação forçada a 60 °C até atingirem peso constante e moídas em moinho Wiley em peneiras de 2 e 1 mm para análise dos nutrientes. A digestibilidade aparente dos nutrientes e os nutrientes digestíveis totais foram avaliados por meio da coleta de amostras fecais pontuais (aproximadamente 1000 g/animal/dia) uma vez ao dia, às 6h, 8h, 10h, 12h e 14:00h, do dia 16 ao 20º dia de cada período experimental, respectivamente (TORRES et al., 2009). As amostras fecais foram agrupadas por animal no final do período experimental e armazenadas a -20 °C. As amostras fecais foram pré-secas e processadas conforme descrito para alimentos e sobras.

2.3. Rendimento e composição química do leite

As vacas foram ordenhadas mecanicamente às 05h30 e às 15h00 e a produção de leite (PL) foi registrada individualmente. Amostras de leite (460 ml/dia) foram coletadas de cada

animal no 6º e 7º dia de cada período de amostragem. Esse volume de amostra foi escolhido para representar 2% da PL média (23 kg/dia), sendo 60% do leite coletado pela manhã (276 mL) e 40% à tarde (184 mL) para formar uma amostra composta de 460 ml. Uma alíquota de 50 ml da amostra composta foi conservada em Bronopol® e enviada ao Laboratório de Leite do Programa de Manejo de Gado Leiteiro do Nordeste para determinação dos teores de gordura, proteína, lactose e extrato seco total no leite seguindo os métodos descritos por (ISO 9622, 2013). A produção de leite foi corrigida para 3,5% de gordura (produção de leite corrigida para gordura, PLCG) usando a equação proposta por (SKLAN et al., 1992), onde $PLCG (3,5\%) = [(0,432 + 0,1625 \times \% \text{ de gordura do leite}) \times PL \text{ kg/dia}]$.

2.4. Comportamento ingestivo

O comportamento ingestivo foi avaliado usando o método de varredura instantânea (MARTIN; BATESON, 2000). As vacas foram observadas a cada 10 minutos durante 24 horas, iniciando imediatamente após a alimentação matinal. O tempo gasto com alimentação (A), ruminação (R), ócio (O) e mastigação (TMT; tempo de alimentação + tempo de ruminação) foi registrado para cada animal dentro do período de amostragem. As eficiências de alimentação e ruminação de MS e FDN (g/min) foram calculadas de acordo com Burger et al. (2000). A eficiência do comedouro (g MS/visita ao comedouro) foi igual à quantidade de matéria seca consumida durante cada visita ao comedouro.

2.5. Análises Químicas

Amostras de alimentos, sobras de alimentos e fezes foram analisadas quanto a MS (método 934.01), matéria orgânica (MO; método 942.05), proteína bruta (PB; nitrogênio \times 6,25; método 984.13) e extrato etéreo (EE; método 920.39) de acordo com os procedimentos descritos pela AOAC (1990). A fibra em detergente neutro (FDN) foi analisada segundo Mertens (2002) utilizando α -amilase termoestável sem adição de sulfito de sódio. Análises de fibra em detergente ácido e lignina (método 973.18) foram realizadas de acordo com AOAC (1990). A FDN foi corrigida para cinzas, proteína insolúvel em detergente neutro, proteína insolúvel em detergente ácido e nitrogênio não proteico de acordo com Licitra, Hernandez e Van Soest (1996). A concentração de fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) nos alimentos, sobras e amostras fecais também foi determinada para estimar a excreção fecal total (EFT). A concentração de FDNi foi obtida após a incubação das amostras no rúmen de uma vaca fistulada, por 288 horas (VALENTE; DETMANN; SAMPAIO, 2015). O conteúdo de NDT das dietas e sua conversão em energia líquida para a lactação (ELlac) foram estimados de acordo com NRC (2001).

2.6. Cálculos

Os carboidratos totais (CHT) foram estimados segundo Sniffen et al. (1992), enquanto o conteúdo de carboidratos não fibrosos (CNF) foi estimado de acordo com Detmann e Valadares Filho (2010). A matéria orgânica foi calculada como $MO = 1000 \text{ g/kg MS} - \text{g cinzas/kg MS}$. Os consumos de matéria seca, MO, PB, FDN, CHT e CNF foram calculados subtraindo-se a quantidade de cada nutriente nas sobras da oferta diária do nutriente. A produção fecal de matéria seca (PFMS) foi estimada pela seguinte equação: $PF = \text{quantidade de FDNi fornecida (g/dia)} / \text{FDNi na MS fecal (g/kg)}$. A digestibilidade aparente dos nutrientes foi estimada pela seguinte equação: $(\text{consumo de nutrientes} - \text{excreção de nutrientes}) / \text{consumo de nutrientes}$.

2.7. Análise Estatística

As variáveis estudadas foram analisadas usando o procedimento MIXED do SAS (versão 9.4; SAS Inst., Inc., Cary, NC, EUA) de acordo com um desenho de quadrado latino replicado 5×5 . O seguinte modelo matemático foi utilizado:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + Q_j + P_k + (A/Q)_{lj} + T^*Q_{ij} + \epsilon_{ijkl}$$

onde Y_{ijkl} = observação $ijkl$; μ = média geral; T_i = efeito fixo do tratamento i ; Q_j = efeito fixo do quadrado j ; P_k = efeito fixo do período k ; $(A/Q)_{lj}$ = efeito aleatório do animal l dentro do quadrado j ; T^*Q_{ij} = efeito fixo do tratamento de interação i e quadrado j ; e ϵ_{ijkl} = erro aleatório com média 0 e variância σ^2 .

Os efeitos lineares e quadráticos da substituição da SMSE foram analisados utilizando contrastes ortogonais polinomiais e ajustes das equações de regressão. Os efeitos lineares e quadráticos foram considerados estatisticamente significativos quando $p < 0,05$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os consumos de MS, MO, CNF e FDNi exibiram um claro aumento linear com a substituição da SMSE ($p < 0,05$; tabela 3). Em contrapartida, o consumo de PB, EE e ELlac seguiu um padrão quadrático, com os maiores valores estimados de consumo de PB, EE e ELlac (2,79 kg/dia, 1,11 kg/dia e 27,52 Mcal/dia, respectivamente) alcançados em 95,38%, 73,87% e 88,6% de substituição de SMSE ($p < 0,05$; tabela 3). O consumo de FDN não foi afetado pelos tratamentos dietéticos ($p > 0,05$).

Tabela 3. Efeitos dos níveis de substituição de silagem de milho sem espigas por palma forrageira mais bagaço de cana sobre o consumo de nutrientes.

Item (kg/dia) ¹	Níveis de substituição (%)					EPM ²	p-Valor ³	
	0	25	50	75	100		L	Q
Matéria seca	15.98	17.32	17.86	18.55	18.73	0.6184	<0.0001	0.1323
Matéria seca (% PC ⁴)	2.82	3.03	3.11	3.26	3.34	0.1249	<0.0001	0.4353
Matéria orgânica	14.74	15.91	16.36	16.92	17.05	0.5777	<0.0001	0.1412
Proteína bruta	2.37	2.56	2.69	2.79	2.79	0.0920	<0.0001	0.0470
Extrato etéreo	0.91	1.02	1.08	1.13	1.08	0.0395	<0.0001	<0.0001
FDN _{cp}	7.00	7.31	7.15	7.15	7.02	0.2740	0.8331	0.2535
FDN _{cp} (% PC ⁴)	1.24	1.28	1.24	1.26	1.25	0.0535	0.8940	0.6396
Carboidratos não-fibrosos	4.46	5.03	5.44	5.84	6.16	0.2013	<0.0001	0.3048
ELI _{ac} (Mcal/dia ⁵)	21.32	24.28	25.93	28.01	27.31	1.1036	<0.0001	0.0245
FDNi ⁶	2.00	2.26	2.43	2.63	2.82	0.1125	<0.0001	0.7224

¹Matéria seca; ²Erro padrão da média. ³L: efeito linear; Q: efeito quadrático. Os efeitos lineares e quadráticos foram considerados estatisticamente significativos quando $p < 0,05$. ⁴Peso corporal. ⁵Energia líquida da lactação. ⁶Fibra em detergente neutro indigerível.

A digestibilidade aparente da MS, MO PB e CNF aumentou ($p < 0,05$), enquanto a digestibilidade da FDNi diminuiu linearmente ($p < 0,05$; tabela 4) com a substituição progressiva da SMSE. Não houve efeito da substituição da SMSE na digestibilidade do EE ($p > 0,05$).

Tabela 4. Efeitos dos níveis de substituição de silagem de milho sem espigas por palma forrageira mais bagaço de cana sobre a digestibilidade aparente dos nutrientes da dieta (g/kg).

Item	Níveis de substituição (%)					EPM ¹	p-Valor ²	
	0	25	50	75	100		L	Q
Matéria seca	598.79	622.36	636.21	655.62	636.12	15.0542	0.0120	0.1012
Matéria orgânica	618.57	640.99	658.78	675.48	660.33	14.3778	0.0061	0.1163
Proteína bruta	604.39	662.69	706.17	751.05	745.03	15.4074	<0.0001	0.0810
Extrato etéreo	857.14	874.32	880.81	894.89	884.03	8.8012	0.0940	0.1354
FDN _{cp} ³	425.99	430.44	413.31	420.49	357.34	24.789	0.0252	0.1434
Carboidratos não-fibrosos	881.81	888.72	914.90	918.82	927.13	11.5494	0.0003	0.5823

¹Erro padrão da média. ²L: efeito linear; Q: efeito quadrático. Os efeitos lineares e quadráticos foram considerados estatisticamente significativos quando $p < 0,05$. ³Fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteínas.

O tempo gasto nas atividades de alimentação, ruminação e mastigação diminuiu linearmente ($p < 0,05$; tabela 5), enquanto o ócio e as eficiências de alimentação e ruminação da MS e da FDN aumentaram linearmente ($p < 0,05$).

Tabela 5. Efeitos dos níveis de substituição de silagem de milho sem espigas por palma forrageira mais bagaço de cana sobre o comportamento ingestivo de vacas holandesas.

Item	Níveis de substituição (%)					EPM ¹	<i>p</i> -Valor ²	
	0	25	50	75	100		L	Q
Tempo de alimentação (min/dia)	358	346	345	339	322	15.9370	0.0028	0.5989
Tempo de ruminação (min/dia)	561	523	453	448	418	23.2570	<0.0001	0.2446
Tempo em ócio (min/dia)	521	571	642	653	700	29.6312	<0.0001	0.4398
Tempo total mastigação (min/dia)	906	869	798	787	740	29.6312	<0.0001	0.4398
Eficiências, (g/min)								
Eficiência de alimentação (MS) ³	44	51	53	57	61	3.1939	<0.0001	0.9332
Eficiência de ruminação (MS) ³	28	33	40	42	47	2.2830	<0.0001	0.3697
Eficiência de ruminação (FDN _{cp}) ³	12	14	16	16	18	0.8894	<0.0001	0.2935

¹Erro padrão da média. ²L: efeito linear; Q: efeito quadrático. Os efeitos lineares e quadráticos foram considerados estatisticamente significativos quando $p < 0,05$. ³Dividir a ingestão de cada um desses nutrientes pelo tempo total de alimentação (eficiência alimentar) e tempo de ruminação (eficiência de ruminação).

Os níveis crescentes de PF e BC tiveram um efeito quadrático tanto na produção de leite quanto na PLCG (kg/dia; tabela 6). A maior produção de leite (24,17 kg/dia) e PLCG (21,9 kg/dia) foram alcançadas nos níveis de PF e BC de 63,9% e 38,6%, respectivamente. Além disso, o teor de gordura do leite e de sólidos totais diminuiu linearmente ($p < 0,05$), enquanto o teor de proteína, lactose e sólidos não-gordurosos apresentou um aumento linear ($p < 0,05$).

Tabela 6. Efeitos dos níveis de substituição de silagem de milho sem espigas por palma forrageira mais bagaço de cana na produção e composição do leite de vacas holandesas.

Item	Níveis de substituição (%)					EPM ¹	<i>p</i> -Valor ²	
	0	25	50	75	100		L	Q
Produção de leite, kg/dia	21.31	23.24	23.55	24.32	22.85	1.4203	0.0543	0.0146
PLCG ³	20.44	22.17	21.20	21.11	18.48	1.3204	0.0560	0.0132
Composição do leite, %								

Gordura	3.26	3.09	2.95	2.77	2.35	0.2632	<0.0001	0.1320
Proteína	2.87	2.91	2.96	2.94	3.02	0.0491	<0.0001	0.8171
Lactose	4.32	4.38	4.44	4.41	4.54	0.0680	<0.0001	0.6592
Sólidos totais	11.12	11.28	10.91	10.83	10.61	0.3141	0.0028	0.3726
Sólidos não-gordurosos	7.87	7.97	8.10	8.07	8.26	0.1195	<0.0001	0.9142

¹Erro padrão da média. ²L: efeito linear; Q: efeito quadrático. Os efeitos lineares e quadráticos foram considerados estatisticamente significativos quando $p < 0,05$. ³Leite corrigido para gordura, calculado conforme equação proposta por Sklan et al. (1992).

A substituição da SMSE por PF e BC resultou em mudanças importantes na composição da dieta, como reduções na MS (de 404 para 318 g/kg de matéria fresca) e no teor de FDN (de 457 para 407 g/kg MS) e aumentos no CNF (de 395 a 439 g/kg MS) e FDNi (de 124 a 177 g/kg MS).

O excesso ou a falta de umidade na ração são as principais razões para limitações no consumo de ração. Conforme destacado por Schingoethe et al. (2017), a MS da dieta deve variar entre 45% e 60% para evitar interferência no consumo de ração. Curiosamente, apesar de nossas dietas experimentais terem um teor médio de MS menor (35,73%, tabela 3) do que a faixa ideal indicada acima, não houve impacto negativo de PF e BC na ingestão de MS (tabela 3). O excesso de umidade pode limitar fisicamente a ingestão de MS através do preenchimento ruminal, mais comumente em vacas alimentadas com forragens convencionais, como gramíneas frescas e silagens. Apesar de possuírem quantidade substancial de água, os cladódios das palmas se destacam das demais fontes forrageiras por apresentarem rápidas taxas de degradação ruminal, que liberam imediatamente a água contida neles e minimizam o enchimento ruminal.

Outro aspecto digno de nota em nossos resultados de consumo está relacionado à qualidade da silagem, principalmente à ausência de grãos. Observamos que o maior consumo de FDN em função do PC foi encontrado para a dieta sem PF e BC (1,2%), indicando que a presença ou ausência deste constituinte não influenciou significativamente o consumo. Pelo contrário, o aumento do consumo de MS pode ser explicado pela diminuição do teor de FDN e aumento do CNF à medida que a silagem de milho foi substituída por PF e BC, com consequente aumento na digestibilidade. Além disso, a palma forrageira é altamente aceitável para os animais e contém mucilagem, que aglutina e homogeneiza facilmente as partículas da ração, evitando assim a seleção dos ingredientes menos aceitáveis (SIQUEIRA et al., 2019).

O aumento da digestibilidade da MS e da MO pode ser explicado pela inclusão progressiva de PF na dieta. Observações anteriores mostraram que dietas contendo PF promovem altas taxas de degradação e fermentação ruminal (FREITAS et al., 2018; SIQUEIRA et al., 2019). Além disso, o elevado aumento na digestibilidade da PB (+23,34%) provavelmente contribuiu para a maior digestibilidade da MS e MO em vacas alimentadas com PF e BC. O nitrogênio não proteico (NPN) pode ser convertido rápida e quantitativamente em NH_3 devido à sua alta solubilidade no rúmen. O NNP pode então ser utilizado por microrganismos (GETAHUN et al., 2019) ou transferido para o sangue através da parede ruminal, não sendo detectado nas fezes, o que provavelmente levou à melhora da digestibilidade da PB. Em contrapartida, o declínio linear na digestibilidade da FDN, correspondente a 16,98%, pode estar associado à maior concentração de frações indigeríveis do bagaço de cana em dietas à base de PF/BC (tabela 1 e tabela 2); entretanto, houve compensação pelo aumento nos níveis de CNF e não houve alteração na digestibilidade do EE.

A redução na alimentação, na ruminação, no tempo de mastigação e no aumento do tempo de ócio pode ser justificada, em parte, pelo teor ligeiramente inferior de FDN das dietas PF e BC (-8%; tabela 2). Entretanto, como não houve efeitos significativos da substituição da SMSE no consumo absoluto (g/kg MS) ou relativo (%PC) de FDN, esses padrões de comportamento alterados podem estar associados ao aumento no consumo de MS (ou seja, vacas alimentadas com dietas PF e BC compensaram os níveis mais baixos de FDN em sua dieta aumentando a ingestão de MS). O tamanho das partículas também pode ter desempenhado um papel nessas respostas porque a SMSE tinha um tamanho de partícula maior que o bagaço. A PF, apesar de terem um tamanho de partícula muito grande, apresentam baixa eficácia da fibra (CONCEIÇÃO et al., 2016).

A maior eficiência alimentar e de ruminação (g MS/min) observada para dietas com PF e BC pode ser explicada por vários aspectos das dietas PF e BC, principalmente o aumento do consumo de MS em menor período (tabela 5), a maior palatabilidade e degradabilidade ruminal da PF em comparação com a SMSE (FREITAS et al., 2018), e possivelmente um aumento na taxa de passagem (SIQUEIRA et al., 2017). Outra característica marcante da PF é a sua suculência, que favorece o processo de mastigação, deglutição e regurgitação (MUNHAME et al., 2021). Por fim, as alterações na eficiência de ruminação (g FDNcp/min) aqui observadas poderiam ser explicadas pelo processamento da cana-de-açúcar: a prensagem da cana gera um material com partículas menores, afetando assim a ruminação. Nossos resultados concordam com os de Siqueira et al. (2018), que observaram que a eficiência alimentar de novilhos

melhorou em 364 g/kg MS quando palma, contendo 277 g/kg de MS, substituíram o feno de capim Tifton (654 g de FDN/kg MS).

Vacas em lactação alimentadas com PF apresentam maior consumo de MS e produção de leite (SÁNCHEZ et al., 2022). No entanto, estudos anteriores relataram que altos níveis de PF, geralmente acima de 400 g/kg MS, podem comprometer a digestibilidade da FDN devido ao aumento nos níveis de CNF da dieta e consequente queda no pH ruminal (ALMEIDA et al., 2018; MONTEIRO et al., 2014). O aumento significativo no teor de CNF da dieta e a redução no tamanho das partículas com a substituição de SMSE por PF e BC, que está implicado na digestibilidade da fibra, podem explicar o declínio na PL quando a inclusão de PF e BC foi aumentada acima de 75% (tabela 6). Siqueira et al. (2022) observaram menor pH do fluido ruminal em ovinos alimentados com PF e BC em comparação com aqueles alimentados com silagem de milho. Além disso, o NRC (2001) indica que níveis de CNF acima de 42% podem levar à acidose ruminal e à consequente queda na produção de leite em vacas em lactação devido ao excesso de carboidratos de fermentação rápida no rúmen. Com base na composição dos alimentos incluídos nas dietas experimentais (tabela 1) e suas respectivas proporções (tabela 2), estimamos que a concentração de CNF aumentou de 417 para 428 g/kg MS, aproximando-se do limite do NRC.

Os efeitos significativos da PF e BC nas concentrações de lactose e proteína do leite podem ser atribuídos à diminuição acentuada no teor de gordura do leite (tabela 6). Como o declínio na gordura do leite foi muito mais pronunciado do que o aumento no teor de proteína e lactose, a proporção de sólidos totais também seguiu uma queda linear (tabela 6). A depressão da gordura do leite observada no presente estudo pode estar associada a vários fatores, como baixo teor efetivo de fibra, gorduras alimentares, alta proporção de CNF, alimentos finamente moídos e dietas úmidas (> 50% de umidade) (EROCKSON; KALSCHEUR, 2020; GRIINARI et al., 1998). Vale ressaltar que todas as dietas apresentavam alto percentual de concentrado (40%), a palma apresentava baixo teor de fibras (± 277 g/kg MS) e o BC era finamente moído, conforme dito anteriormente.

Modificações na fermentação ou no metabolismo ruminal podem interferir na síntese e no teor de gordura do leite. Várias teorias foram propostas para explicar como ocorre a depressão da gordura do leite (DGL), mas ainda não foram totalmente elucidadas (GRIINARI et al., 1998). No entanto, tem sido geralmente aceito que alterações no padrão de fermentação ruminal diminuem a quantidade de precursores lipídicos necessários para a síntese de gordura na glândula mamária (DAVIS; BROWN, 1970; SUTTON, 1989).

A depressão da gordura do leite ocorreu em vacas alimentadas com dietas contendo óleo adicionado e partículas de forragem curtas. A combinação de óleo e tamanho curto de partícula de forragem resulta em uma taxa de passagem mais rápida, menor concentração e rendimento de gordura do leite e maior concentração de CLA *trans* -10, *cis* -12 (LESKINEN et al., 2019), um potente inibidor da síntese de gordura do leite na glândula mamária (RAMIREZ-RAMIREZ; HARVATINE; KONOFF, 2016). Em nosso estudo, esse fato é demonstrado pelo comportamento alimentar e teor de gordura do leite de vacas alimentadas com PF e BC: o tempo gasto na ruminação e a gordura do leite diminuíram linearmente. Juntos, esses resultados sugerem que altos níveis de PF e BC não proporcionam condições ideais de fermentação ruminal, favorecendo a síntese de ácidos graxos ruminais associados a DGL. A presença de germen de milho integral nas dietas do nosso estudo parece ter sido fundamental para esse comportamento. Em outro experimento em que vacas foram alimentadas com dieta contendo PF (400 g/kg MS), BC (300 g/kg MS) e concentrado (300 g/kg MS) (FREITAS et al., 2018), não foram detectadas alterações na composição do leite.

Embora as culturas de milho possam ser recomendadas para suplementação de forragem em regiões semiáridas, a produção de milho tem sido altamente afetada pelas mudanças climáticas nas regiões secas. Os défices hídricos têm um impacto negativo no rendimento do milho ao longo das fases de crescimento, indicando que as culturas de milho devem ser irrigadas; no entanto, a disponibilidade de água é um elemento crucial para a adoção desta tecnologia. Já a palma forrageira, além de apresentar baixo risco de cultivo em regiões semiáridas, pode ser cultivada por meio de tecnologias de fácil aplicação (espaçamento, adubação e tratamentos culturais), rendendo de 40 a 60 toneladas de MS a cada dois anos. De acordo com os presentes resultados, a PF é uma cultura agrônômica ideal para regiões semiáridas; porém, como a PF possui baixo teor de FDN e deve ser fornecida em associação com uma fonte de fibra, o uso de silagem não pode ser descartado, principalmente para vacas com produção de leite semelhante à observada neste estudo. Outros pesquisadores demonstraram que a associação de PF com outras fontes de volumoso de baixa qualidade, como o BC, promove produções de leite satisfatórias (FREITAS et al., 2018).

4. CONCLUSÃO

Para vacas holandesas alimentadas com dietas usuais no semiárido, a produção de leite pode ser maximizada substituindo 38,6% da SMSE por PF e BC.

Referências

- ALMEIDA, G. A. P. et al. Sugarcane bagasse as exclusive roughage for dairy cows in smallholder livestock system. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 31, n. 3, p. 379–385, 2018.
- AOAC. Alimentação Animal. In Associação de Químicos Analíticos Oficiais (AOAC); HELRICH, K., Ed.; Associação de Químicos Analíticos Oficiais, Inc.: Arlington, VA, USA, 1990; v. 1, p. 69–90
- BATISTA, A. M. V. et al. Chemical Composition and Ruminal Degradability of Spineless Cactus Grown in Northeastern Brazil. **Rangeland Ecology & Management**, v. 62, n. 3, p. 297–301, 2009.
- BÜRGER, P. J. et al. Comportamento ingestivo em bezerros holandeses alimentados com dietas contendo diferentes níveis de concentrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 1, p. 236–242, 2000.
- CONCEIÇÃO, M. G. et al. Replacement of wheat bran with spineless cactus in sugarcane-based diets for steers. **Revista Brasileira De Zootecnia**, v. 45, n. 4, p. 158–164, 2016.
- DAVIS, C. L.; BROWN, R. E. Síndrome do leite com baixo teor de gordura. In **Digestão e metabolismo em ruminantes**; Phillipson, A.T., Ed.; Oriel Press: Newcastle upon Tyne, UK, 1970; pp. 545–565.
- DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S. C. On the estimation of non-fibrous carbohydrates in feeds and diets. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 62, n. 4, p. 980–984, 2010.
- EROCKSON, P.S.; KALSCHEUR, K.F. Nutrição e Alimentação de Bovinos Leiteiros. In **Agricultura Animal**; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2020; pp. 157–180.
- FERREIRA, M. A. et al. Utilização da palma forrageira na alimentação de bovinos leiteiros. In: **Palma Forrageira: Potencial e Perspectivas**, 2ed.; SANTOS, M. V. F., CARVALHO, F. F. R., FERREIRA, M. A., Edt. Suprema Grafica: Visconde do Rio Branco, Brazil, 2022; 384p.
- FREITAS, W. R. et al. Sugarcane bagasse as only roughage for crossbred lactating cows in semiarid regions. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 53, n. 3, p. 386–393, 2018.

GETAHUN, D. et al. Urea Metabolism and Recycling in Ruminants. **Biomedical Journal of Scientific & Technical Research**, v. 20, n. 1, 2019.

GRIINARI, J. M. et al. Trans-Octadecenoic Acids and Milk Fat Depression in Lactating Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v. 81, n. 5, p. 1251–1261, 1998.

ISO 9622/IDF 141C; Determinação do teor de gordura, proteína, lactose e uréia do leite: orientação sobre a operação de instrumentos de infravermelho médio. ISO: Genebra, Suíça, 2013.

LESKINEN, H. et al. Temporal changes in milk fatty acid composition during diet-induced milk fat depression in lactating cows. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 6, p. 5148–5160, 2019.

LICITRA, G.; HERNANDEZ, T. M.; VAN SOEST, P. J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v. 57, n. 4, p. 347–358, 1996.

MARTIN, P.; BATESON, P. **Medindo Comportamento**, 3ª ed.; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2007.

MERTENS, D. R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. **Journal of AOAC International**, v. 85, n. 6, p. 1217–1240, 2002.

MONTEIRO, C. C. F. et al. Replacement of wheat bran with spineless cactus (*Opuntia ficus indica* Mill cv Gigante) and urea in the diets of Holstein x Gyr heifers. **Tropical Animal Health and Production**, v. 46, n. 7, p. 1149–1154, 2014.

MUNHAME, J. A. et al. Intake, digestibility, ingestive behavior and performance of goats fed spineless cactus genotypes resistant to carmine cochineal. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 73, n. 5, p. 1209–1216, 2021.

NRC; NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7. ed. EUA: Washington National Academy Press, 2001. p. 258–280.

PAULA, T.; FERREIRA, M. A.; VÉRAS, A. S. C. UTILIZAÇÃO DE PASTAGENS EM REGIÕES SEMIÁRIDAS: ASPECTOS AGRONÔMICOS E VALOR NUTRICIONAL –

Revisão. **Arquivos do Mudi**, v. 24, n. 2, p. 140–162, 2020.

RAMIREZ RAMIREZ, H. A.; HARVATINE, K. J.; KONONOFF, P. J. Short communication: Forage particle size and fat intake affect rumen passage, the fatty acid profile of milk, and milk fat production in dairy cows consuming dried distillers grains with solubles. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 1, p. 392–398, 2016.

ROCHA FILHO, R. R. et al. Miúda (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck)—The Best Forage Cactus Genotype for Feeding Lactating Dairy Cows in Semiarid Regions. **Animals**, v. 11, n. 6, p. 1774–1774, 2021.

SÁNCHEZ, B. M. S. et al. Partial replacement of sugarcane with cactus (*Opuntia stricta*) cladodes improves milk yield and composition in Holstein dairy cows. **Animal Production Science**, v. 62, n. 7, p. 691–699, 2022.

SCHINGOETHE, D. J. A 100-Year Review: Total mixed ration feeding of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 12, p. 10143–10150, 2017.

SIQUEIRA, M. C. B. et al. Optimizing the use of spineless cactus in the diets of cattle: Total and partial digestibility, fiber dynamics and ruminal parameters. **Animal Feed Science and Technology**, v. 226, p. 56–64, 2017.

SIQUEIRA, M. C. B. et al. Nutritional Performance and Metabolic Characteristics of Cattle Fed Spineless Cactus. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 20, n. 1, p. 13–22, 2018.

SIQUEIRA, M. C. B. et al. Cactus Cladodes *Opuntia* or *Nopalea* and By-Product of Low Nutritional Value as Solutions to Forage Shortages in Semiarid Areas. **Animals**, v. 12, n. 22, p. 3182–3182, 2022a.

SIQUEIRA, T. D. Q. et al. Cactus cladodes associated with urea and sugarcane bagasse: an alternative to conserved feed in semi-arid regions. **Tropical Animal Health and Production**, v. 51, n. 7, p. 1975–1980, 2019.

SIQUEIRA, T. D. Q. et al. Palatability and nycterohemeral patterns of ingestive behavior of sheep fed different roughage sources. **Tropical Animal Health and Production**, v. 54, n. 2, 2022b.

SKLAN, D. et al. Fatty Acids, Calcium Soaps of Fatty Acids, and Cottonseeds Fed to High Yielding Cows. **Journal of Dairy Science**, v. 75, n. 9, p. 2463–2472, 1992.

SNIFFEN, C. J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v. 70, n. 11, p. 3562–3577, 1992.

SUTTON, J. D. Altering Milk Composition by Feeding. **Journal of Dairy Science**, v. 72, n. 10, p. 2801–2814, 1989.

TORRES, L. C. L. et al. Substituição da palma-gigante por palma-miúda em dietas para bovinos em crescimento e avaliação de indicadores internos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 11, p. 2264–2269, 2009.

VALENTE, T. N. P.; DETMANN, E.; SAMPAIO, C. B. Review: Recent advances in evaluation of bags made from different textiles used in situ ruminal degradation. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 95, n. 4, p. 493–498, 2015.

CAPÍTULO II

A substituição da silagem de milho sem espigas por palma forrageira e bagaço de cana aumenta os níveis dos ácidos vaccênico e rumênico no leite de vacas holandesas

Resumo: este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da substituição da silagem de milho sem espigas (SMSE) por palma forrageira (PF; *Opuntia* spp.) mais bagaço de cana-de-açúcar (BC) sobre a produção, composição e perfil de ácidos graxos do leite de vacas em lactação. Dez vacas da raça Holandesa, pesando $571 \pm 97,0$ kg e produzindo $23,0 \pm 4,4$ kg/dia, foram distribuídas em dois quadrados latinos simultâneos 5×5 . Os tratamentos consistiram em cinco níveis de substituição da SMSE (0, 25, 50, 75 e 100%) por PF e BC. Houve um efeito quadrático para PL. Os teores de gordura e de sólidos totais diminuíram linearmente, enquanto o percentual de proteína aumentou. Os ácidos vacênico (C18:1 *trans*-11) e rumênico (CLA *cis*-9, *trans*-11) aumentaram linearmente. Além de maximizar a produção de leite, a mistura PF e BC reduz o teor de ácidos graxos saturados do leite e aumenta as proporções de ácidos graxos insaturados desejáveis, como C18:1 *trans*-11 e CLA *cis*-9, *trans* 11.

Palavras-chave: cactácea; subprodutos; CLA; depressão da gordura do leite.

Abstract: this study aimed to evaluate the effect of replacing corn earless corn silage (ECS) with cactus pear (PF; *Opuntia* spp.) plus sugarcane bagasse (SB) on the production, composition and profile of fatty acids of milk from lactating cows. Ten Holstein cows, weighing 571 ± 97.0 kg and producing 23.0 ± 4.4 kg/day, were distributed in two simultaneous 5×5 Latin squares. The treatments consisted of five ECS replacement levels (0, 25, 50, 75 and 100%) per PF and SB. There was a quadratic effect for PL. The fat and total solids contents decreased linearly, while the protein percentage increased. Vacenic acid (C18:1 trans-11) and rumenic acid (CLA cis-9, trans-11) increased linearly. In addition to maximizing milk production, the PF and BC mixture reduces the saturated fatty acid content of milk and increases the proportions of desirable unsaturated fatty acids, such as C18:1 trans-11 and CLA cis-9, trans 11.

Key-words: cactaceae; by-products; CLA; milk fat depression.

1. INTRODUÇÃO

No semiárido do Brasil, o cultivo de milho verde é uma tradição. A produção se concentra mais em pequenas propriedades, com 1 a 10 hectares (NASCIMENTO et al., 2017). O material restante, após a colheita das espigas verdes, é comumente ensilado e comercializado pelo mesmo preço da silagem de milho, e utilizado na alimentação de ruminantes.

Porém, se comparada à silagem de milho, a qualidade da silagem de milho sem espigas (SMSE) é inferior: 7,8 e 5,95% de proteína bruta (PB); 49,7 e 69,34% de fibra em detergente neutro (FDN) e 63,6 e 46,66% de digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), respectivamente (FERREIRA et al., 2013; GARCÍA-CHÁVEZ et al., 2022).

Uma alternativa à substituição da SMSE seria o uso de palma forrageira associada a uma fonte de fibra em detergente neutro fisicamente efetiva (FDNef), como o bagaço de cana-de-açúcar (BC), por exemplo. A palma forrageira Orelha-de-Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* [Haw.] Haw) (PF) é uma variedade adaptada às condições climáticas do semiárido, rica em água (cerca de 900 g/kg de matéria natural) (TEKLU et al., 2023) e carboidratos não-fibrosos (em torno de 600 g/kg de MS) (ARAÚJO et al., 2023). Porém, possui pouca efetividade na sua FDN.

O bagaço é o resíduo obtido após o processamento da cana-de-açúcar. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com estimativa de produção de cerca de 610,1 milhões de toneladas na safra 2022/2023 (CONAB, 2023), sendo que 9,2% dessa produção ocorre na região Nordeste. Cada tonelada de cana-de-açúcar gera, aproximadamente, 280 kg de bagaço (CRUZ et al., 2021), que possui elevado de FDN, mais de 80%, (MOLAVIAN et al., 2020). Normalmente, o bagaço de cana-de-açúcar é abundante em épocas de escassez de forragem e, muitas vezes, é menos dispendioso, se comparado a fontes convencionais de forragem (DANIEL et al., 2013; ALMEIDA et al., 2018).

Além desses benefícios, Gama et al. (2020) avaliaram o efeito da substituição parcial da silagem de sorgo por palma orelha de elefante mexicana (*Opuntia stricta* [Haw.] Haw) em dietas suplementadas com óleo de soja e observaram o potencial dessa variedade de palma forrageira em modificar o perfil de ácidos graxos do leite de vacas, elevando os teores de *trans*-11 18:1; *cis*-9, *trans*-11 18:2 e 18:2 n-6. Esses mesmos autores associaram os efeitos benéficos na composição de ácidos graxos do leite à composição única da palma, como a presença de quantidades significativas de mucilagem, pectina e numerosos compostos fenólicos, que podem modular a composição da microbiota ruminal e/ou a dinâmica das partículas no rúmen em uma

forma que favorece o fluxo de *trans*-11 18: 1 e ácidos graxos poli-insaturados dietéticos para a glândula mamária.

Assim, a hipótese deste estudo foi que é possível substituir a SMSE pela associação de PF e BC e favorecer um maior aporte de ácidos graxos para a glândula mamária, resultando em elevação nos teores de ácidos graxos poli-insaturados e ácido linoleico conjugado (CLA) no leite. Este estudo teve como objetivo avaliar o perfil de ácidos graxos do leite de vacas recebendo níveis de substituição de SMSE por PF e BC.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Animais e dietas

O estudo foi conduzido de acordo com os padrões éticos aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), licença n.º 4997300322. O experimento foi realizado na estação experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), em São Bento do Una, Pernambuco, Brasil cujo clima é classificado como semiárido quente (BWh), segundo o sistema de classificação de Koppen (1948), situado na latitude 08°31'22" S e longitude 36°06'40" W, com precipitação média anual de 655 mm e temperatura média de 23,8°C (FARIAS et al., 2000).

Foram utilizadas dez vacas da raça Holandesa (cinco multíparas e cinco primíparas), com peso corporal inicial de 571 kg ± 97,0, 109 ± 18 dias em lactação e produção de leite de 23,0 ± 4,4 kg/dia. Todas as vacas foram adaptadas às instalações, manejo e dieta durante 15 dias antes do início do ensaio (período pré-experimental). Posteriormente, as vacas foram distribuídas em dois quadrados latinos 5 × 5 com períodos experimentais de 21 dias, sendo 14 dias para adaptação às dietas e 7 dias para coleta de dados e amostras, totalizando 105 dias de experimento. Os animais foram alocados aos quadrados latinos com base na ordem de parto (multíparas e primíparas).

As vacas foram alojadas em baias individuais (24 m²), cobertas em parte com telhas e com sombrite, equipadas com comedouros individuais e bebedouros compartilhados. Cada baia continha uma área com piso de concreto (onde eram colocados os comedouros) e uma área com cama de areia (repouso).

Os tratamentos dietéticos consistiam de cinco níveis de substituição (0%, 25%, 50%, 75% e 100%) de silagem de milho sem espigas (SMSE) por palma Orelha-de-Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* [Haw.] Haw) (PF) e bagaço de cana-de-açúcar (BC) (tabela 1).

Tabela 1. Proporção dos ingredientes e composição química das dietas (g/kg MS).

Ingredientes	Níveis de substituição (%)				
	0	25	50	75	100
Silagem de milho sem espigas	590.8	443.1	295.4	147.7	0.0
Bagaço de cana	0.0	70.9	141.8	212.7	283.6
Palma forrageira	0.0	76.8	153.2	229.6	306.0
Farelo de trigo	83.1	83.1	83.1	83.1	83.1
Milho grão	77.1	71.1	65.5	59.9	54.5
GIEM ¹	72.2	76.5	80.9	85.2	89.5
Refinazil	81.9	81.9	81.9	81.9	81.9
Protenose	71.7	71.7	71.7	71.7	71.7
Ureia/sulfato de amônio ²	3.0	4.6	6.2	7.8	9.4
Sal comum	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
Mistura mineral ³	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2
Composição química					
Materia seca ⁴	403.7	376.6	354.0	334.4	318.2
Materia orgânica	922.1	921.6	920.9	920.1	919.5
Proteína bruta	144.0	144.2	143.0	143.1	143.3
Extrato etéreo	55.9	56.5	57.3	58.1	58.9
FDNcp ⁵	456.9	444.4	431.9	419.5	407.0
Carboidratos não-fibrosos	394.9	406.3	417.3	428.3	439.3
Nutrientes digestíveis totais	637.6	653.2	669.5	684.4	664.9
Ácidos graxos totais					
C16:0	17.06	16.66	16.27	15.88	15.48
C18:0	2.45	2.32	2.20	2.06	1.93
C18:1 <i>cis</i> -9	20.96	21.13	21.30	21.47	21.63
C18:2 n-6	37.59	37.55	37.53	37.48	37.45
C18:3 n-3	2.46	2.20	1.94	1.68	1.42

¹Gérmen integral extragordo de milho. ²Ureia + sulfato de amônio na proporção de 9:1. ³Componentes: fosfato bicálcico, calcário, sal comum, flor de enxofre, sulfato de zinco, sulfato de cobre, sulfato de manganês, iodato de potássio e selenito de sódio. ⁴g/kg de matéria natural. ⁵Fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteínas.

As dietas foram formuladas de acordo com as recomendações do NRC (2001) para atender às exigências de vacas em lactação com peso corporal de 570 kg e produção de leite de 23,0 kg/dia com 3,5% de gordura. As dietas foram fornecidas à vontade como ração total mista (TMR) às 07:00 e 16:00h. A quantidade de ração fornecida foi ajustada diariamente para permitir 5 a 10% de sobras alimentares, que foram pesadas e registradas antes da alimentação matinal.

2.2. Amostragem e análise de leite

O volume de leite produzido em duas ordenhas diárias (5h30 e 15h00) foi registrado durante todo o período de coleta de dados (dias 15 a 21). Amostras individuais de leite foram coletadas nos dias 20 e 21 de cada período experimental, correspondendo a 2% do volume de leite produzido em cada ordenha (duas amostras por dia). As amostras foram mantidas sob refrigeração até a última coleta de leite no dia 21, e combinadas por animal e período, posteriormente. Uma alíquota de 50 ml da amostra composta foi adicionada a um tubo Falcon contendo conservante (Bronopol®) e mantida a 2–6 °C até análise de gordura, proteína e sólidos totais dentro de 2 dias. Outro conjunto de amostras compostas de leite (5 ml, sem conservantes) foram congeladas a -20 °C e, posteriormente, submetidas à análise do perfil de ácidos graxos (AG) do leite.

As amostras de leite foram descongeladas em temperatura ambiente e uma alíquota de 1 ml foi utilizada para extração lipídica (AOAC, 2012). Os lipídios extraídos foram dissolvidos em hexano e acetato de metila e posteriormente transesterificados usando uma solução de metóxido de sódio em metanol (BALDIN et al., 2013). A mistura foi neutralizada com ácido oxálico (1 g do ácido em 30 ml de éter dietílico) e os resíduos de metanol foram removidos pela adição de cloreto de cálcio. Os ésteres metílicos de ácidos graxos (FAME) foram então separados e quantificados usando um cromatógrafo gasoso 7820A (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EUA) equipado com FID e um analisador de sílica fundida CP-Sil 88 coluna capilar (100 m × 0,25 mm × 0,2 µm; Varian, Mississauga, ON, Canadá). O equipamento foi operado conforme Referência [15].

O FAME contido nas amostras de leite foi identificado por comparação com o tempo de retenção de padrões comerciais (Supelco® 37 Component FAME Mix, SigmaAldrich,

Bellefonte, EUA; Larodan Ab, Estocolmo, Suécia; Luta-Cla® 60, BASF AG, São Paulo, Brasil). Os isômeros *trans/cis* C18:1 e *trans-9, cis-11* CLA foram identificados de acordo com suas ordens de eluição relatadas sob as mesmas condições analíticas descritas em outro lugar (CRUZ-HERNANDEZ et al., 2007). A composição de ácidos graxos do leite foi expressa como uma proporção do total de ácidos graxos usando fatores de resposta teóricos (WOLFF; BAYARD; FABIEN, 1995). Os índices de atividade da enzima estearoil-CoA a dessaturase-1 (SCD-1) foi estimada como a proporção entre os produtos e substratos da enzima C14:1 *cis-9*/(14:0 + C14:1 *cis-9*), C16:1 *cis-9*/(16:0 + C16:1 *cis-9*), C18:1 *cis-9*/(C18:0 + C18:1 *cis-9*) e C18:2 *cis-9, trans-11* / (C18:1 *trans-11* + C18:2 *cis-9, trans-11*) (KELSEY et al., 2003).

2.3. Análise estatística

Uma das vacas apresentou problemas de saúde no início do segundo período experimental. Assim, os dados referentes a ela foram estimados como observações perdidas. Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância e regressão pelo procedimento MIXED do SAS (versão 9.4) conforme o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + Q_j + P_k + (A/Q)_{lj} + T^*Q_{ij} + \varepsilon_{ijkl}$$

Onde: Y_{ijkl} = observação $ijkl$; μ = média geral; T_i = efeito fixo do tratamento i ; Q_j = efeito fixo do quadrado j ; P_k = efeito fixo do período k ; $(A/Q)_{lj}$ = efeito aleatório do animal l dentro do quadrado j ; T^*Q_{ij} = efeito fixo da interação tratamento i e quadrado j ; ε_{ijkl} = erro aleatório com a média 0 e variância σ^2 .

As médias obtidas para os diferentes níveis de substituição da SMVSE (0, 25, 50, 75 e 100%) foram comparadas a partir do desdobramento da soma dos quadrados em contrastes ortogonais e ajustes das equações de regressão. Os efeitos lineares e quadráticos foram considerados estatisticamente significativos quando $p < 0,05$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito quadrático para produção de leite (kg/dia) (tabela 2). A produção máxima de leite foi de 24,17 kg/dia, estimada com 63,9% de substituição. Os teores de gordura e sólidos totais diminuíram e o de proteína aumentou, linearmente ($p < 0,05$).

Tabela 2. Efeitos dos níveis de substituição de SMSE por PF e BC sobre a produção e composição do leite de vacas.

Item	Níveis de substituição (%)					EPM ¹	<i>p</i> -Valor ²	
	0	25	50	75	100		L	Q
Leite (kg/dia)	21.31	23.24	23.55	24.32	22.85	1.4203	0.0543	0.0146
Composição (%)								
Gordura	3.26	3.31	2.95	2.77	2.35	0.2632	<0.0001	0.1320
Proteína	2.87	2.91	2.96	2.94	3.02	0.0491	<0.0001	0.8171
Sólidos totais	11.12	11.28	10.91	10.83	10.61	0.3141	0.0028	0.3726

¹Erro padrão da média. ²L: efeito linear; Q: efeito quadrático. Os efeitos lineares e quadráticos foram considerados estatisticamente significativos quando $p < 0,05$.

A substituição da SMSE por PF e BC modificou significativamente as proporções de vários ácidos graxos da gordura do leite (tabela 3). Os ácidos graxos de cadeia curta, com cadeias de carbono pares (C4:0 a C10:0), reduziram linearmente ($p < 0,05$). O AG C18:0 reduziu linearmente ($p < 0,0001$).

Tabela 3. Efeitos dos níveis de substituição de SMSE por PF e BC sobre o perfil de ácidos graxos (AG) do leite (g/100 g de AG totais) de vacas.

Item	Níveis de substituição (%)					EPM ¹	<i>p</i> -Valor ²	
	0	25	50	75	100		L	Q
C4:0	3,9902	3,9099	3,7354	3,8661	3,3171	0,2467	0,0084	0,2851
C5:0	0,0410	0,0383	0,0397	0,0348	0,0388	0,0018	0,1709	0,2922
C6:0	1,9587	2,0165	1,8553	1,8279	1,4826	0,1768	0,0007	0,0674
C7:0	0,0174	0,0153	0,0174	0,0173	0,0157	0,0021	0,7140	0,8064
C8:0	1,3521	1,3138	1,2369	1,2369	1,0737	0,1023	0,0029	0,4587
C9:0	0,0188	0,0174	0,0182	0,0206	0,0197	0,0037	0,5497	0,7937
C10:0	1,8825	1,9084	1,7762	1,7146	1,4453	0,2138	0,0022	0,1755
C11:0	0,0340	0,0320	0,0298	0,0330	0,0257	0,0055	0,1296	0,6552
C12:0	1,9403	2,0082	1,9407	1,8957	1,7493	0,1942	0,0805	0,2184
C12:1 <i>cis</i> -9 + C13:0	0,1041	0,1054	0,0989	0,0911	0,0843	0,0085	0,0006	0,2994
C14:0	7,3967	7,5349	7,4690	7,3845	6,9896	0,4759	0,1780	0,1998

C14:0 <i>iso</i>	0,0949	0,0927	0,0728	0,0670	0,0497	0,0067	<0,0001	0,2443
C14:1 <i>cis</i> -9	0,6408	0,6195	0,6972	0,7320	0,7160	0,0832	0,0162	0,7933
C15:0	0,7749	0,7176	0,7383	0,6752	0,7121	0,0351	0,1206	0,4067
C15:0 <i>iso</i>	0,2030	0,1880	0,1842	0,1778	0,1234	0,0123	<0,0001	0,0175
C15:0 <i>anteiso</i>	0,4639	0,4415	0,4090	0,3964	0,3082	0,0230	<0,0001	0,0765
C16:0	22,4435	22,4224	22,7072	22,1708	22,1324	0,7687	0,4123	0,4964
C16:0 <i>iso</i>	0,2107	0,1671	0,1781	0,1274	0,1398	0,0168	0,0019	0,4286
C16:1 <i>trans</i> -9	0,0742	0,1152	0,1677	0,1823	0,2084	0,0214	<0,0001	0,2139
C16:1 <i>cis</i> -9 + C17:0 <i>anteiso</i>	1,2086	1,1932	1,2617	1,3118	1,3493	0,1195	0,0464	0,7032
C17:0	0,4213	0,4224	0,4115	0,3846	0,3893	0,0111	0,0003	0,7637
C17:0 <i>iso</i>	0,2543	0,2973	0,3191	0,3425	0,3347	0,0198	0,0011	0,1477
C17:1 <i>cis</i> -9	0,1495	0,1354	0,1367	0,1278	0,1337	0,0089	0,0570	0,2112
C18:0	15,0509	14,0767	12,0365	11,1001	9,6709	0,5947	<0,0001	0,8977
C18:0 <i>iso</i>	0,0433	0,0477	0,0556	0,0468	0,0429	0,0040	0,8856	0,0259
C20:0	0,1971	0,1877	0,1667	0,1525	0,1450	0,0081	<0,0001	0,6280
C20:1	0,0506	0,0443	0,0488	0,0455	0,0616	0,0075	0,2955	0,1621
C20:2	0,0264	0,0301	0,0302	0,0307	0,0337	0,0022	0,0026	0,8330
C20:3	0,0526	0,0434	0,0400	0,0267	0,0321	0,0079	<0,0001	0,1308
C20:4	0,1338	0,1269	0,1181	0,1169	0,1004	0,0090	0,0001	0,5783
C20:5	0,0332	0,0294	0,0261	0,0228	0,0254	0,0021	<0,0001	0,0064
C21:0	0,0175	0,0186	0,0171	0,0188	0,0204	0,0019	0,3495	0,5593
C22:0	0,0762	0,0826	0,0783	0,0797	0,0622	0,0070	0,0542	0,0278
C22:5	0,0313	0,0308	0,0338	0,0271	0,0286	0,0037	0,2188	0,5156
C23:0	0,0195	0,0168	0,0161	0,0169	0,0165	0,0016	0,2268	0,2796
C24:0	0,0303	0,0309	0,0295	0,0312	0,0320	0,0024	0,4686	0,5786

¹Erro padrão da média. ²L: efeito linear; Q: efeito quadrático. Os efeitos lineares e quadráticos foram considerados estatisticamente significativos quando $p < 0,05$.

Todos os ácidos graxos C18 secretados no leite responderam significativamente aos níveis de substituição da SMSE por PF e BC ($p < 0,05$) (tabela 4). C18:1 *cis*-9 e C18:3 *n*-3 reduziram linearmente; C18:1 *trans*-5, C18:1 *trans*-10, C18:1 *trans*-12, C18:1 *trans*-16, C18:2 *cis*-9, *trans*-12 e C18:2 *trans*-10, *cis*-12 apresentaram efeito quadrático; e os demais, incluindo

os ácidos vacênico (C18:1 *trans*-11) e rumênico (C18:2 *cis*-9, *trans*-11), aumentaram linearmente com os níveis de substituição ($p < 0,05$).

Tabela 4. Efeitos dos níveis de substituição de SMVSE por PF e BC sobre a proporção de ácidos graxos (AG) C18 na gordura do leite (g/100 g de AG totais) de vacas.

Item	Níveis de substituição (%)					EPM ¹	<i>p</i> -Valor ²	
	0	25	50	75	100		L	Q
C18:0	15,0509	14,0767	12,0365	11,1001	9,6709	0,5947	<0,0001	0,8977
C18:1 <i>trans</i> -4	0,0445	0,0455	0,0560	0,0712	0,0793	0,0059	<0,0001	0,2004
C18:1 <i>trans</i> -5	0,0298	0,0320	0,0458	0,0547	0,0762	0,0046	<0,0001	0,0071
C18:1 <i>trans</i> -6/ <i>trans</i> -8	0,3415	0,5461	0,6257	0,8017	1,0419	0,0714	<0,0001	0,2803
C18:1 <i>trans</i> -9	0,2822	0,3743	0,4646	0,5551	0,7190	0,0500	<0,0001	0,1863
C18:1 <i>trans</i> -10	0,7972	1,1988	1,5318	2,2427	5,2345	0,5954	<0,0001	0,0002
C18:1 <i>trans</i> -11	1,9605	2,4256	3,3571	3,9298	3,9367	0,5744	<0,0001	0,2964
C18:1 <i>trans</i> -12	0,3975	0,5248	0,6472	0,7446	0,7811	0,0372	<0,0001	0,0167
C18:1 <i>trans</i> -13/ <i>trans</i> -14	0,4390	0,4524	0,5992	0,6689	0,8144	0,0498	<0,0001	0,1831
C18:1 <i>trans</i> -16	0,2804	0,2920	0,3032	0,3005	0,2618	0,0177	0,4719	0,0208
C18:1 <i>cis</i> -9	25,4582	24,2426	23,4164	22,6454	20,9118	1,0031	<0,0001	0,6174
C18:1 <i>cis</i> -11	0,6632	0,6638	0,6950	0,6738	0,7865	0,0332	0,0014	0,0551
C18:1 <i>cis</i> -12	0,2625	0,2956	0,3689	0,4354	0,4264	0,0197	<0,0001	0,2058
C18:1 <i>cis</i> -13	0,0918	0,1113	0,1194	0,1184	0,1505	0,0109	0,0008	0,6796
C18:1 <i>cis</i> -15 + C19:0	0,0641	0,0631	0,0749	0,0862	0,0940	0,0077	0,0012	0,5355
C18:2 <i>trans</i> -9, <i>trans</i> -12	0,0241	0,0211	0,0278	0,0268	0,0314	0,0040	0,0495	0,5305

C18:2 <i>cis</i> -9, <i>trans</i> -12	0,0460	0,0549	0,0598	0,0661	0,0599	0,0041	0,0019	0,0403
C18:2 n-6	2,9310	3,3723	3,7525	4,1341	4,8611	0,2826	<0,0001	0,2433
C18:2 <i>cis</i> -9, <i>trans</i> -11	1,0103	1,2441	1,5771	1,8410	1,6867	0,2067	<0,0001	0,0881
C18:2 <i>trans</i> - 9, <i>cis</i> -11	0,0337	0,0374	0,0530	0,0620	0,0824	0,0070	<0,0001	0,1115
C18:2 <i>trans</i> - 10, <i>cis</i> -12	0,0220	0,0216	0,0279	0,0342	0,0742	0,0104	<0,0001	0,0004
C18:3 n-6	0,0359	0,0326	0,0289	0,0265	0,0217	0,0026	<0,0001	0,8356
C18:3 n-3	0,2138	0,2064	0,2073	0,1925	0,1807	0,0193	0,0230	0,5404

¹Erro padrão da média. ²L: efeito linear; Q: efeito quadrático. Os efeitos lineares e quadráticos foram considerados estatística-mente significativos quando $p < 0,05$.

Com exceção dos ácidos graxos de cadeia média (AGCM), todos os somatórios, razões e índices de atividade da enzima estearoil-CoA dessaturase 1 (SCD-1) responderam de alguma forma aos níveis de substituição da SMSE por PF e BC ($p < 0,05$) (tabela 5). Os somatórios de ácidos graxos ômega-3 (AG n-3), de cadeia curta (AGCC), saturados (AGS), de cadeia ímpar e ramificada (AGCIR) e o índice da enzima SCDCLA reduziram linearmente ($p < 0,05$). E os somatórios dos ácidos graxos ômega-6 (AG n-6), monoinsaturados (AGMI), poli-insaturados (AGPI), a relação ômega-6/ômega-3 (n-6/n-3) e os índices SCD14, SCD16 e SCD18 da enzima SCD-1, aumentaram linearmente ($p < 0,05$).

Tabela 5. Efeitos dos níveis de substituição de SMSE por PF e BC sobre as proporções dos principais grupos de ácidos graxos (AG) (g/100 g de AG total), relações de AG e índices de estearoil-CoA dessaturase 1 (SCD-1) na gordura do leite de vacas.

Item	Níveis de substituição (%)					EPM ¹	<i>p</i> -Valor ²	
	0	25	50	75	100		L	Q
Σ AG n-3	0,278	0,267	0,267	0,242	0,235	0,0217	0,0023	0,6616
Σ AG n-6	3,180	3,605	3,970	4,335	5,049	0,2803	<0,0001	0,2418
Σ 18:1 <i>trans</i>	4,154	5,891	7,630	9,369	12,945	0,5434	<0,0001	0,0071
Σ 18:1 <i>trans</i> - (AV+AR) ³	1,659	2,222	2,696	3,598	7,322	0,8627	<0,0001	0,0008
Σ AGCC ³	9,183	9,149	8,604	8,646	7,319	0,6877	0,0014	0,1675
Σ AGCM ³	31,781	31,965	32,117	31,451	30,871	1,2795	0,1699	0,2410

Σ AGS ³	58,933	58,005	55,539	53,819	50,337	1,5970	<0,0001	0,1316
Σ AGMI ³	31,908	32,476	33,623	34,667	36,658	1,2945	<0,0001	0,2409
Σ AGMI <i>cis</i>	27,501	26,287	25,640	24,936	23,304	1,0195	<0,0001	0,6559
Σ AGMI <i>trans</i>	4,406	6,189	7,983	9,731	13,354	0,5510	<0,0001	0,0087
Σ AGPI ³	4,602	5,276	6,010	6,643	7,262	0,3012	<0,0001	0,7579
Σ AGCI ³	1,344	1,278	1,288	1,201	1,238	0,0390	0,0207	0,4381
Σ AGCR ³	1,270	1,234	1,219	1,158	0,999	0,0430	<0,0001	0,0109
Σ AGCIR ⁴	2,615	2,513	2,507	2,359	2,237	0,0654	<0,0001	0,3698
Razões entre AG								
C18:1 <i>trans</i> /C18:0	0,287	0,425	0,639	0,853	1,358	0,0568	<0,0001	<0,0001
C18:1 <i>trans</i> -11/C18:0	0,133	0,178	0,277	0,351	0,400	0,0477	<0,0001	0,8969
n-6/n-3	11,790	14,171	15,148	18,460	21,817	1,5320	<0,0001	0,1969
Índices de atividade da SCD-1 ⁵								
SCD14	0,078	0,076	0,086	0,089	0,091	0,0091	0,0061	1,0000
SCD16	0,051	0,050	0,053	0,056	0,056	0,0042	0,0261	0,7308
SCD18	0,628	0,633	0,658	0,671	0,684	0,0131	<0,0001	0,9312
SCDCLA	0,359	0,342	0,330	0,331	0,321	0,0163	0,0182	0,4898

¹Erro padrão da média. ²L: efeito linear; Q: efeito quadrático. Os efeitos lineares e quadráticos foram considerados estatisticamente significativos quando $p < 0,05$. ³AV = C18:1 *trans*-11 (ácido vacênico); AR = CLA *cis*-9, *trans*-11 (ácido rumênico); AGCC = ácidos graxos de cadeia curta; AGCM = ácidos graxos de cadeia média, AGS = ácidos graxos saturados; AGMI = ácidos graxos monoinsaturados; AGPI = ácidos graxos poli-insaturados; AGCI = ácidos graxos de cadeia ímpar; AGCR = ácidos graxos de cadeia ramificada. ⁴AGCIR = soma de AG de cadeia ímpar e ramificada, exceto 13:0 e 17:0 *anteiso*, pois estes co-eluíram com 12:1 *cis*-9 e 16:1 *cis*-9, respectivamente. ⁵Índices estearoil-CoA dessaturase-1 (SCD-1) calculados para os pares 14:1 *cis*-9/14:0 (SCD14), 16:1 *cis*-9/16:0 (SCD16), 18:1 *cis*-9/18:0 (SCD18) e CLA *cis*-9, *trans*-11/18:1 *trans*-11 (SCDCLA) (KELSEY et al., 2003).

A produção de leite acompanhou o comportamento quadrático do consumo de NDT e PB (dados não mostrados). Os níveis de substituição da SMSE causaram redução no teor de gordura do leite, que pode ser explicada pelo aumento da formação de ácidos graxos intermediários da biohidrogenação ruminal que causam a depressão da gordura do leite, como é o caso do C18:2 *trans*-10, *cis*-12 e C18:1 *trans*-10 (quadrático) e o C18:2 *trans*-9 *cis*-11 (linear) (tabela 4). Esses AG são comumente associados à DGL (CONTE et al., 2018; RICO; HARVATINE, 2013; PERFIELD et al., 2007). A redução linear no teor de sólidos totais se

deu, principalmente, devido à redução do teor de gordura no leite. O comportamento verificado na concentração de proteína pode ser apenas um efeito de diluição.

A diminuição linear dos níveis de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC, C4:0 a C10:0) no leite sugere que houve uma inibição mais acentuada na síntese de novo de ácidos graxos do que na absorção de AG pré-formados na glândula mamária (BAUMAN; GRIINARI, 2001).

A ligação entre a palma forrageira e a redução da concentração de C18:0 no leite foi inicialmente proposta em um estudo em que a substituição parcial da silagem de sorgo por *Opuntia stricta* para vacas suplementadas com óleo de soja (2,7% de matéria seca) resultou em uma diminuição significativa das proporções de C18:1 *cis*-9 e C18:0 na gordura do leite [11]. Os pesquisadores indicaram que os compostos fenólicos encontrados na PF (IZUEGBUNA; OTUNOLA; BRADLEY, 2019) influenciam a biohidrogenação ruminal ao modificar a composição da microbiota no rúmen; como consequência, quantidades maiores de C18:1 *trans*-11 são liberadas do rúmen em detrimento de C18:0 (VASTA et al., 2019). Esse efeito é congruente com o aumento linear na proporção de C18:1 *trans*-11/C18:0 na gordura do leite das vacas no presente estudo (tabela 5).

Cerca de 60% do ácido oleico (C18:1 *cis*-9) é proveniente da síntese endógena realizada pela enzima estearoil-CoA dessaturase 1 (SCD-1) ou Δ 9-dessaturase (SHINGFIELD et al., 2008; TAUGBØL et al., 2018), a partir do C18:0, como substrato. Assim, a redução linear do C18:1 *cis*-9 (tabela 4), no presente estudo, pode ser explicada pela diminuição linear acentuada do teor de C18:0 (35,75%), com a substituição da SMVSE.

A redução linear na proporção de ácido linolênico (C18:3 n-3) (tabela 4) na gordura do leite (tabela 3) pode ser explicado pela sua extensa biohidrogenação no rúmen (TORAL et al., 2018). Além disso, os alimentos utilizados nas dietas experimentais (principalmente o bagaço de cana) têm potencial limitado para enriquecer o leite com C18:3 n-3 (FREITAS et al., 2019), em oposto ao que acontece com forragens tropicais (LOPES et al., 2015). Valores de C18:3 n-3 semelhantes aos encontrados no presente estudo (0,18 a 0,21 g/100g de AG) foram obtidos em vacas alimentadas com cana-de-açúcar fresca, palma forrageira e gérmen integral extragordo de milho (0,16 a 0,20 g / 100 g de AG) (NETTO et al., 2022).

A substituição da SMVSE por PF e BC também aumentou a proporção de outro importante isômero CLA, o CLA *trans*-10, *cis*-12, na gordura do leite (tabela 4). Concentrações mais altas de C18:1 *trans*-10 e CLA *trans*-10, *cis*-12 são frequentemente observadas no leite de vacas com DGL (NETTO et al., 2022). Esta condição está geralmente associada a uma mudança da via normal de biohidrogenação ruminal para um aumento da síntese de C18:1 *trans*-10 em detrimento de C18:1 *trans*-11 (ZENED et al., 2013), resultando em razões C18:1 *trans*-10 /

trans-11 acima de 1,0 (*trans*-10 turno), com 100% de substituição da SMVSE (DEWANCKELE et al., 2020). Essa mudança ocorre, principalmente, devido o efeito da palma em inibir a última etapa da biohidrogenação (GAMA et al., 2020).

A redução linear no somatório dos ácidos graxos saturados (Σ AGS) (tabela 5), provocada pela substituição da SMVSE, se deu principalmente devido ao decréscimo linear dos AGCC e do C18:0 (tabelas 5 e 3, respectivamente).

Os ácidos graxos de cadeia ímpar e ramificada (AGCIR) são principalmente provenientes de lipídios microbianos do rúmen (REGO et al., 2009). Portanto, a queda na proporção total de AGCIR na gordura do leite de vacas alimentadas com PF e BC indica uma possível inibição do crescimento microbiano. Além disso, a redução da lipogênese de novo na glândula mamária também pode ter desempenhado um papel na diminuição da proporção de AGCIR no leite, já que a síntese de alguns desses AG após a digestão ruminal também foi observada (VLAEMINCK et al. (2015).

A síntese mamária endógena do CLA *cis*-9, *trans*-11 a partir da utilização do C18:1 *trans*-11 da BH ruminal, como substrato, é responsável pela maior parte do CLA *cis*-9, *trans*-11 secretado no leite (LOOR et al. (2005). Assim, a redução linear no índice de atividade da SCD-1 para o par CLA *cis*-9, *trans*-11 / C18:1 *trans*-11 (SCDCLA) observado em resposta à substituição da SMVSE nas dietas (tabela 5) sugere uma redução na síntese endógena de CLA *cis*-9, *trans*-11.

Apesar do teor de C18:2 n-6 das dietas serem semelhantes (tabela 1), houve aumento linear do teor desse ácido graxo no leite (tabela 4) com a inclusão de PF e BC. A possível explicação seria o efeito de arraste que a palma causa na digesta, reduzindo a biohidrogenação ruminal do C18:2 n-6 [11] e favorecendo maior passagem desse AG até chegar na glândula mamária e ser incorporado ao leite.

O aumento linear do somatório dos ácidos graxos *trans* C18:1 (Σ 18:1) (tabela 5) ocorreu, principalmente, devido à elevação linear do C18:1 *trans*-10 e C18:1 *trans*-11 (tabela 4).

O aumento linear crescente dos ácidos graxos poli-insaturados (Σ AGPI) (tabela 5) com os níveis de PF e BC ocorreu, em sua maior parte, devido ao C18:2 n-6 (tabela 4), o principal representante dessa categoria.

Os efeitos das dietas com PF e BC nos conteúdos de C18:2 n-6 e C18:3 n-3 aumentaram significativamente a relação n-6/n-3 no leite (tabela 5). Essa relação é um parâmetro utilizado para avaliar a qualidade nutricional de gorduras, óleos e dietas; alimentos com valores mais baixos de n-6/n-3 são mais desejáveis do ponto de vista da saúde humana (RIBEIRO et al.,

2014). No entanto, o enriquecimento da gordura do leite com AGMI e AGPI pelas dietas com PF e BC, particularmente com compostos bioativos como C18:1 *trans*-11 e CLA *cis*-9, *trans*-11, são considerados benefícios da substituição da SMVSE por PF e BC em dietas para vacas leiteiras.

O efeito linear crescente da atividade da enzima esteroil-CoA dessaturase 1 (SCD14, SCD16 e SCD18) (tabela 5) ($p < 0,05$) indica que os níveis de inclusão da PF e BC favoreceram a ação dessa enzima na glândula mamária.

4. CONCLUSÃO

Apesar da redução linear do teor de gordura do leite, do ponto de vista da saúde humana, a silagem de milho verde sem espigas pode ser substituída por palma forrageira e bagaço de cana em dietas para vacas holandesas produzindo 23 kg de leite/dia. A mistura PF e BC reduz o teor de ácidos graxos saturados do leite e aumenta as proporções de ácidos graxos insaturados desejáveis, como C18:1 *trans*-11 e CLA *cis*-9, *trans* 11.

Referências

- ALMEIDA, G. A. P. et al. Sugarcane bagasse as exclusive roughage for dairy cows in smallholder livestock system. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 31, n. 3, p. 379–385, 2018.
- AOAC Internacional. Método Oficial 989.05. Gordura no leite. Método de extração com éter Mojonnier modificado. Em *Métodos Oficiais de Análise da AOAC International*, 19ª ed; AOAC Internacional: Gaithersburg, MD, EUA, 2012.
- ARAÚJO, T. P. M. et al. Effect of cactus species in the diets of dairy goats on feed efficiency, milk yield, and milk and cheese composition. **Animal Feed Science and Technology**, v. 304, p. 115755–115755, 2023.
- BALDIN, M. et al. A rumen unprotected conjugated linoleic acid supplement inhibits milk fat synthesis and improves energy balance in lactating goats1. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 7, p. 3305–3314, 2013.
- BAUMAN, D. E.; GRIINARI, J. M. Regulation and nutritional manipulation of milk fat: low-fat milk syndrome. **Livestock Production Science**, v. 70, n. 1-2, p. 15–29, 2001.
- Conab - Safra Brasileira de Cana-de-açúcar.** Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>>. Acesso em: 29 maio. 2023.
- CONTE, G. et al. A canonical discriminant analysis to study the association between milk fatty acids of ruminal origin and milk fat depression in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 7, p. 6497–6510, 2018.
- CRUZ, M. A. et al. Análise da viabilidade do uso de resíduos de cana-de-açúcar para produção de aglomerantes sustentáveis. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, n. 4, 2021.
- CRUZ-HERNANDEZ, C. et al. Evaluating the Conjugated Linoleic Acid and Trans 18:1 Isomers in Milk Fat of Dairy Cows Fed Increasing Amounts of Sunflower Oil and a Constant Level of Fish Oil. **Journal of Dairy Science**, v. 90, n. 8, p. 3786–3801, 2007.
- DANIEL, J. L. P. et al. Fibre digestion potential in sugarcane across the harvesting window. **Grass and Forage Science**, v. 69, n. 1, p. 176–181, 2013.
- DEWANCKELE, L. et al. Invited review: Role of rumen biohydrogenation intermediates and

rumen microbes in diet-induced milk fat depression: An update. **Journal of Dairy Science**, v. 103, n. 9, p. 7655–7681, 2020.

FARIAS, I. et al. Manejo de colheita e espaçamento da palma forrageira, em consórcio com sorgo granífero no Agreste de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.341-347, 2000.

FERREIRA, G. D. G. et al. Nutritional value of ten earless corn hybrids used for silage. **Rev. Colomb. Cienc. Pecu.**, v. 26, p. 255–262, 2013.

FREITAS, W. R. et al. Milk fatty acid profile of dairy cows fed diets based on sugarcane bagasse in the Brazilian region. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 79, n. 3, p. 464–472, 2019.

GAMA, M. A. et al. Partially replacing sorghum silage with cactus (*Opuntia stricta*) cladodes in a soybean oil-supplemented diet markedly increases *trans* -11 18:1, *cis* -9, *trans* -11 CLA and 18:2 n-6 contents in cow milk. **Anim. Physiol. and Anim. Nutr.**, v. 105, n. 2, p. 232–246, 2020.

GARCÍA-CHÁVEZ, I. et al. Corn silage, a systematic review of the quality and yield in different regions around the world. **Ciencia y Tecnología Agropecuaria**, v. 23, n. 3, 2022.

IZUEGBUNA, O.; OTUNOLA, G.; BRADLEY, G. Chemical composition, antioxidant, anti-inflammatory, and cytotoxic activities of *Opuntia stricta* cladodes. **PLOS ONE**, v. 14, n. 1, p. 1–27, 2019.

KELSEY, J. A. et al. The Effect of Breed, Parity, and Stage of Lactation on Conjugated Linoleic Acid (CLA) in Milk Fat from Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 8, p. 2588–2597, 2003.

KÖPPEN, W. **Climatology: Earth climate studies**. México: Fondo de Cultura Economica, 1948. pp. 478.

LOOR, J. J. et al. High-Concentrate Diets and Polyunsaturated Oils Alter Trans and Conjugated Isomers in Bovine Rumen, Blood, and Milk. **Journal of Dairy Science**, v. 88, n. 11, p. 3986–3999, 2005.

LOPES, F. C. F. et al. **Lácteos naturalmente enriquecidos com ácidos graxos benéficos à**

saúde. In. Sustentabilidade Ambiental, Social e Econômica da Cadeia Produtiva do Leite: Desafios e Perspectivas. Embrapa: Brasília, Brasil, 434p., 2015.

MOLAVIAN, M. et al. Substitution of wheat straw with sugarcane bagasse in low-forage diets fed to mid-lactation dairy cows: Milk production, digestibility, and chewing behavior. **Journal of Dairy Science**, v. 103, n. 9, p. 8034–8047, 2020.

NASCIMENTO, F. N. et al. Desempenho da produtividade de espigas de milho verde sob diferentes regimes hídricos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 1, p. 94–108, 2017.

NETTO, A. J. et al. Replacing corn with full-fat corn germ in a basal diet containing cactus (*Opuntia stricta*) cladodes and sugarcane as forage sources induces milk fat depression associated with the trans-10 shift in dairy cows. **Animal Feed Science and Technology**, v. 288, p. 115289–115289, 2022.

NRC; NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7. ed. EUA: Washington National Academy Press, 2001. p. 258–280.

PERFIELD, J. W. et al. Trans-9, Cis-11 Conjugated Linoleic Acid Reduces Milk Fat Synthesis in Lactating Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v. 90, n. 5, p. 2211–2218, 2007.

REGO, O. A. et al. Rumen biohydrogenation-derived fatty acids in milk fat from grazing dairy cows supplemented with rapeseed, sunflower, or linseed oils. **Journal of Dairy Science**, v. 92, n. 9, p. 4530–4540, 2009.

RIBEIRO, C. G. S. et al. Desempenho produtivo e perfil de ácidos graxos do leite de vacas que receberam níveis crescentes de óleo de girassol em dietas à base de capim-elefante. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v. 66, n. 5, p. 1513–1521, 2014.

RICO, D.; HARVATINE, K. J. Induction of and recovery from milk fat depression occurs progressively in dairy cows switched between diets that differ in fiber and oil concentration. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 10, p. 6621–6630, 2013.

SHINGFIELD, K. J. et al. Ruminal Infusions of Cobalt-EDTA Reduce Mammary $\Delta 9$ -Desaturase Index and Alter Milk Fatty Acid Composition in Lactating Cows³. **Journal of Nutrition**, v. 138, n. 4, p. 710–717, 2008.

TAUGBØL, O. et al. Cobalt supplied per os reduces the mammary $\Delta 9$ -desaturase index of

bovine milk¹. **Journal of Animal Science**, v. 86, n. 11, p. 3062–3068, 2008.

TEKLU, G. W. et al. Nutritive and Chemical Composition and In Vitro Digestibility of Cladodes of the *Opuntia* Species. **Sustainability**, v. 15, n. 8, p. 6624–6624, 2023.

TORAL, P. G. et al. In vitro ruminal biohydrogenation of eicosapentaenoic (EPA), docosapentaenoic (DPA), and docosahexaenoic acid (DHA) in cows and ewes: Intermediate metabolites and pathways. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 7, p. 6109–6121, 2018.

VASTA, V. et al. 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.

VLAEMINCK, B. et al. Postruminal synthesis modifies the odd- and branched-chain fatty acid profile from the duodenum to milk. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 7, p. 4829–4840, 2015.

WOLFF, R. L.; BAYARD, C. C.; FABIEN, R. J. Evaluation of sequential methods for the determination of butterfat fatty acid composition with emphasis on *trans* -18:1 acids. Application to the study of seasonal variations in french butters. **JAACS**, v. 72, n. 12, p. 1471–1483, 1995.

ZENED, A. et al. Starch plus sunflower oil addition to the diet of dry dairy cows results in a trans-11 to trans-10 shift of biohydrogenation. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 1, p. 451–459, 2013.