



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

EDSON JOSÉ ALVES DE CARVALHO

AVALIAÇÃO NUTRICIONAL E ENERGÉTICA DE INGREDIENTES PROTEICOS
NÃO-CONVENCIONAIS DE ORIGEM VEGETAL PARA FRANGOS DE CORTE

RECIFE

2026

EDSON JOSÉ ALVES DE CARVALHO

**AVALIAÇÃO NUTRICIONAL E ENERGÉTICA DE INGREDIENTES PROTEICOS
NÃO-CONVENCIONAIS DE ORIGEM VEGETAL PARA FRANGOS DE CORTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

Área de concentração: Nutrição Animal

Orientadora: Prof^ª Dra. Maria do Carmo Mohaupt Marques Ludke.

Coorientadora: Prof^ª Dra. Lilian Francisco Arantes de Souza.

RECIFE

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Auxiliadora Cunha – CRB-4 1134

C331a Carvalho, Edson José Alves de.
Avaliação nutricional e energética de
ingredientes proteicos não-convencionais de origem
vegetal para frangos de corte / Edson José Alves de
Carvalho. - Recife, 2026.
86 f.

Orientador(a): Maria do Carmo Mohaupt
Marques Ludke.

Co-orientador(a): Lilian Francisco Arantes de
Souza.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal
Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação
em Zootecnia, Recife, BR-PE, 2026.

Inclui referências.

1. Composição química. 2. Energia metabolizável.
3. Aves. 4. DDG-HP DDGS 5. Farelo de algodão. I.
Ludke, Maria do Carmo Mohaupt Marques, orient.
II. Souza, Lilian Francisco Arantes de, coorient. III.
Título

CDD 636



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

**AVALIAÇÃO NUTRICIONAL E ENERGÉTICA DE INGREDIENTES PROTEICOS
NÃO-CONVENCIONAIS DE ORIGEM VEGETAL PARA FRANGOS DE CORTE**

Dissertação elaborada por

EDSON JOSÉ ALVES DE CARVALHO

Aprovado em/...../.....

BANCA EXAMINADORA

**Dra. Maria do Carmo Mohaupt Marques Ludke, Profª Titular,
UFRPE**

Dra. Lilian Francisco Arantes de Souza, Profª Adjunta, UFRPE

Dra. Cláudia da Costa Lopes , Profª Adjunta, UFRN

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, que me fez vencer os desafios e sair vitorioso; à minha família, alicerce da minha vida e desta jornada acadêmica; à minha esposa, Elke Dantas de Melo Carvalho, pelo amor, compreensão e parceria inabalável; aos meus filhos, Edson José Alves de Carvalho Filho e Rachel Dantas de Melo Carvalho, razões do meu esforço e minhas inspirações diárias e em memória, ao meu querido irmão, Eraldo de Souza Carvalho Júnior, cuja presença e exemplo permanecem vivos em meu coração e em cada passo desta conquista.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, por essa grande conquista em minha vida acadêmica.

À minha família, pelo amor incondicional e pelo incentivo ininterrupto, que sempre foram minha maior força motriz para alcançar este objetivo.

Em especial, aos meus pais, **Eraldo de Souza Carvalho e Sebastiana Alves de Carvalho**, pelo suporte e pela base educacional que fundamentou minha trajetória. Minha eterna gratidão por acreditarem em mim.

Ao meu sogro, **Elmo Campos de Melo**, por acreditar em mim e a minha sogra, **Heronita Maria Dantas de Melo**, a quem expresso uma gratidão profunda por ser a grande incentivadora desta jornada. Seu incentivo constante ao saber científico foi o estímulo primordial que despertou meu interesse pelo campo acadêmico e viabilizou minha evolução como pesquisador.

Aos amigos e companheiros de Programa, **Marcos Santos, Kleydson Oliveira e Tatiane Amaral**, pelo companheirismo no laboratório e nas salas de aula, pelas discussões enriquecedoras e pela amizade que tornou os momentos de desafios mais leves e significativos.

À **Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)** e ao **Programa de Pós-Graduação em Zootecnia**, pela oportunidade e pela excelência da estrutura que permitiu o desenvolvimento desta pesquisa.

À minha orientadora, **Prof^a. Dra. Maria do Carmo M. Marques Ludke**, pela confiança, orientação sábia e rigor científico que foram bússolas em cada etapa desse projeto. Sua dedicação foi um pilar fundamental para a conclusão desse trabalho.

À minha coorientadora, **Prof^a. Dra. Lilian Francisco Arantes de Souza**, pelos ensinamentos, disponibilidade constante e apoio técnico essencial ao refinamento dessa pesquisa.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, o meu mais profundo e eterno agradecimento.

RESUMO

Objetivou-se determinar a energia metabolizável aparente (EMA) e a aparente corrigida para nitrogênio (EMAn) de alimentos proteicos de origem vegetal Grãos secos de destilaria com alto teor de proteína (Dried Distillers Grains High Protein DDG-HP), Grãos secos de destilaria com solúveis (Dried Distillers Grains with Solubles – DDGS), sojas semi-integral extrusadas (SSIE) com 8% e 12% de extrato etéreo, e os farelos de algodão com 28% e 38% de proteína bruta) para frangos de corte, comparando os valores obtidos *in vivo* com as estimativas geradas por equações de predição. O ensaio de metabolismo utilizou frangos machos Ross[®] 308 AP, sob o método de coleta parcial de excretas com indicador (Celite[®] 1%) e substituição de 30% da ração-referência. Os coeficientes de metabolização da matéria seca (CMMS), do nitrogênio (CMN), da proteína bruta (CMPB), do extrato etéreo (CMEE) e da energia bruta (CMEB), bem como os valores de energia metabolizável aparente (EMA) e energia metabolizável aparente corrigida para o balanço de nitrogênio (EMAn), foram respectivamente: para o DDG-HP 83,68%, 78,40%, 66,92%, 47,32%, 82,40%, 3392kcal/kg, 3329kcal/kg; para o DDGS 76,22%, 73,9%, 51,44%, 34,71%, 71,23%, 3241kcal/kg, 2507kcal/kg; para a Soja Semi-Integral (8% EE) 86,07%, 59,92%, 85,29%, 74,33%, 74,78%, 3410kcal/kg, 2746kcal/kg; para a Soja Semi-Integral (12% EE) 88,99%, 65,94%, 90,95%, 39,35%, 78,01%, 3437kcal/kg, 2998kcal/kg; para o Farelo de Algodão (28% PB) 77,71%, 51,35%, 43,48%, 64,15%, 67,52%, 1933kcal/kg, 1397kcal/kg; e para o Farelo de Algodão (38% PB) 83,16%, 65,72%, 54,90%, 48,36%, 77,34%, 2656 kcal/kg e 1849 kcal/kg. Na avaliação das equações de predição, verificou-se que o valor determinado de EMAn para o DDG-HP (3329 kcal/kg) foi superior às estimativas de 2862 e 2425 kcal/kg obtidas pelas equações testadas. Para o DDGS, o valor determinado no presente experimento (2507 kcal/kg) aproximou-se da estimativa da equação do NRC (2230 kcal/kg). No caso das amostras de soja semi-integral 8 e 12% EE, as estimativas do NRC (1994) de 2912 e 3209 kcal/kg foram semelhantes a do presente experimento (2746 e 2998 kcal/kg), mais baixos que os valores estimados pelo Rostagno *et al.* (2024). Para os farelos de algodão, a equação do NRC (1994) superestimaram a EMAn: para o farelo de 28% PB, a equação previu 2490 kcal/kg (frente aos 1397 kcal/kg determinado experimentalmente), e para o farelo de 38% PB, previu 2741 kcal/kg (frente aos 1849 kcal/kg determinados experimentalmente). Conclui-se que os ingredientes avaliados apresentam potencial viável como alternativa em dietas para frangos de corte, embora a precisão das equações de predição varie conforme o ingrediente.

Palavras-chave: aves. composição química. DDG-HP, DDGS, energia metabolizável, farelo de algodão. soja semi-integral.

ABSTRACT

The objective was to determine the apparent metabolizable energy (AME) and nitrogen-corrected apparent metabolizable energy (AMEn) of vegetable protein feeds for broilers, comparing *in vivo* obtained values with estimates from prediction equations. The metabolism trial used Ross® 308 AP male broilers, under the partial excreta collection method with an indicator (Celite® 1%) and 30% substitution of the reference diet. The metabolizability coefficients of dry matter (DMMC), crude protein (CPMC), and gross energy (GEMC), as well as AME and AMEn values, were respectively: for DDG-HP, 82.40%, 81.63%, 82.40%, 3660 kcal/kg, and 3329 kcal/kg; for DDGS, 76.22%, 64.28%, 71.23%, 2776 kcal/kg, and 2507 kcal/kg; for Semi-Integral Soy (8% EE), 91.89%, 90.85%, 89.41%, 3801 kcal/kg, and 3158 kcal/kg; for Semi-Integral Soy (12% EE), 94.18%, 97.17%, 92.53%, 4084 kcal/kg, and 3519 kcal/kg; for Cottonseed Meal (28% CP), 69.12%, 72.26%, 42.79%, 1737 kcal/kg, and 1579 kcal/kg; and for Cottonseed Meal (38% CP), 75.74%, 81.91%, 54.70%, 2296 kcal/kg, and 2129 kcal/kg. In the evaluation of prediction equations, it was found that the determined value for DDG-HP (3329 kcal/kg) was higher than the estimates of 2425 and 2020 kcal/kg obtained by the tested equations. For DDGS, the experimental value (2507 kcal/kg) was close to the NRC equation estimate (2230 kcal/kg). In the case of semi-integral soy samples, the estimates from Brazilian tables (3357 and 3643 kcal/kg) were consistent with the *in vivo* determined data. For cottonseed meals, both equations overestimated AMEn: for the 28% CP meal, the equations predicted 2081 and 2490 kcal/kg (compared to the 1111 kcal/kg determined experimentally), and for the 38% CP meal, they predicted 2464 and 2741 kcal/kg (compared to the 1278 kcal/kg determined experimentally). It is concluded that the evaluated ingredients show viable potential as alternatives in broiler diets, although the precision of the prediction equations varies according to the ingredient.

Keywords: birds. chemical composition. cottonseed meal. DDG-HP. DDGS. metabolizable energy. semi-integral soy.

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 – Composição química e energética dos ingredientes proteicos vegetais analisados	43
Tabela 2 – Coeficientes de metabolização da matéria seca (CMMS) e da proteína bruta (CMPB) observados experimentalmente	47
Tabela 3 – Valores de energia metabolizável aparente (EMA) e aparente corrigida para nitrogênio (EMAn) determinada <i>in vivo</i>	48
Tabela 4 – Equações de predição utilizadas para estimar a EMAn dos alimentos vegetais estudados	50
Tabela 5 – Comparação entre os valores de EMAn determinados e os preditos pelas equações para o DDG-HP e DDGS	51
Tabela 6 – Comparação entre os valores de EMAn determinados e os preditos pelas equações para a soja semi-integral e farelo de algodão	52

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 Processamentos, fatores antinutricionais e composição nutricional de alimentos proteicos	11
2.1.1 HP-DDG / DDGS	11
2.1.2 Soja semi-integral extrusada	16
2.1.3 Farelo de algodão	25
2.2 Equações de predição para estimar a EMA e EMAn de alimentos de origem vegetal em frangos de corte	33
3 MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1 Avaliação físico-química dos alimentos, dietas e excretas	36
3.2 Experimento de metabolismo	36
3.2.1 Dietas	37
3.2.2 Coleta das excretas	38
3.2.3 Estimativa da EMAn por equações de predição utilizadas	40
3.3 Análise estatística	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1 Composição físico-química dos ingredientes estudados	42
4.2 Coeficientes de metabolização da MS, PB, EE, ENN e da EB com seus valores digestíveis	46
4.3 Efeito comparativo da EMA e EMAn determinados e estimados por equações de predição	49

5 CONCLUSÃO	54
6 REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta um elevado potencial na produção avícola, sustentando sua posição como o maior exportador mundial de carne de frango em 2024. A produção brasileira no referido ano atingiu 14,97 milhões de toneladas, com um consumo *per capita* de 45,5 kg, sendo 35,36% do volume total destinado à exportação (ABPA, 2025). Embora os Estados Unidos liderem a produção global com 21,34 milhões de toneladas (ABPA, 2025), a eficiência tecnológica brasileira, especialmente no setor de rações, garante a relevância do país no cenário internacional. A avicultura, por sua vez, configura-se como uma atividade agropecuária essencial, responsável por fornecer proteína de baixo custo e alta acessibilidade.

Apesar de o Brasil consolidar sua posição como um dos maiores produtores de grãos do mundo, com a safra 2024/2025 atingindo o recorde histórico de 345,2 milhões de toneladas (CONAB, 2025), o setor avícola enfrenta um desafio; visto que, os preços do milho e da soja são balizados pelo mercado internacional, a forte demanda externa impõe um custo de compra elevado e variáveis para a produção interna de ração, ameaçando a competitividade nacional.

Esse cenário de pressão sobre os custos é agravado pelas exportações projetadas para o ano atual. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2025), a colheita de milho deve alcançar 139,69 milhões de toneladas, mas com 40 milhões destinadas ao mercado externo. Na soja, o volume exportado é ainda mais expressivo, estimado em 106,65 milhões de toneladas. Tais volumes traz uma instabilidade na oferta doméstica e confirmam a necessidade estratégica de buscar alternativas viáveis e economicamente competitivas aos ingredientes convencionais.

Para o ano de 2025, a Sindirações projeta que a produção nacional de rações e concentrados alcance a marca de 90 milhões de toneladas. Dentro desse montante, o segmento de frangos de corte destaca-se como o principal consumidor, sendo responsável por

aproximadamente 37,9 milhões de toneladas, representando 42,11% da projeção total de 90 milhões de toneladas de rações para o ano de 2025 (Zani, 2025). Esse volume demanda cerca de 24,6 milhões de toneladas de milho e 9,5 milhões de toneladas de farelo de soja, consolidando a avicultura como o maior cliente doméstico da agricultura brasileira.

Segundo Barbosa e Gattás (2004), o milho e o farelo de soja são os principais ingredientes utilizados na elaboração de dietas, podendo representar mais de 90% da mistura final. Portanto, exercem papel preponderante nos custos de nutrição e da atividade avícola em geral. Nesse sentido, Carvalho *et al.* (2008) salientam que a determinação rigorosa de custos e a eficiência na administração financeira são fatores cruciais para a sustentabilidade e o sucesso de empresas agrícolas no mercado competitivo.

Nesse contexto, a utilização de coprodutos e alimentos não convencionais estabelece-se como uma estratégia fundamental para otimizar custos, reduzir desperdícios e promover a sustentabilidade (Oliveira *et al.*, 2013). A substituição parcial de milho e soja por ingredientes como o DDGS, o DDG-HP, a soja semi-integral e o farelo de algodão são opções para que a avicultura brasileira sustente sua competitividade. No entanto, o valor nutricional desses alimentos, especialmente a energia metabolizável e a digestibilidade, apresenta grande variação. Essas oscilações podem comprometer a formulação de dietas de custo mínimo e a eficiência zootécnica vinculada a uma nutrição de precisão.

Precisamos ressaltar que a variação nos componentes nutricionais é mais acentuada nos coprodutos em comparação com os alimentos tradicionais. Essa variabilidade pode levar a distúrbios nutricionais caso não sejam realizadas análises frequentes e as dietas não sejam cuidadosamente ajustadas com base na qualidade nutricional dos alimentos (Valentim, 2018).

Dessa forma, a determinação precisa do valor energético desses ingredientes é fundamental. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a composição química e energética, bem como determinar o CMMS, CMN, CMPB, CMEE, CMEB e os valores de EMA

e EMAn do DDG-HP, DDGS, soja semi-integral de 8 e 12% EE e do farelo de algodão de 28% e 38% de PB em frangos de corte, comparando-os com valores estimados por equações de predição descritas na literatura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PROCESSAMENTOS, FATORES ANTINUTRICIONAIS E COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DE ALIMENTOS PROTEICOS PARA FRANGOS DE CORTE

A crescente demanda por soluções eficientes e sustentáveis na avicultura de corte tem impulsionado a indústria a validar ingredientes, que possam compor dietas de alta performance com menor custo. Para as dietas de rações para não-ruminantes, o milho e o farelo de soja são os ingredientes fundamentais. O milho atua como a principal fonte energética, compondo geralmente mais de 60% da dieta devido ao seu elevado teor de amido (Butolo, 2002). Em contrapartida, a soja e seus derivados fornecem a maior parcela da proteína bruta (Café *et al.*, 2000; Carvalho, 2006), destacando-se pelo perfil de aminoácidos essenciais, em especial a lisina.

Contudo, considerando que a alimentação pode representar cerca de 80% dos custos totais de produção (Ramos *et al.*, 2006), a dependência exclusiva desses dois grãos torna a atividade vulnerável às oscilações do mercado de *commodities*. Diante desse cenário, a substituição parcial por ingredientes alternativos, como os coprodutos do milho (DDGS e DDG-HP), a soja semi-integral e o farelo de algodão, aparece como uma estratégia de viabilidade econômica.

Entretanto, a inclusão desses ingredientes em dietas de precisão exige um entendimento amplo de sua composição nutricional, que é altamente variável. Além disso, é necessário

considerar os processos de obtenção (fermentação, secagem, extrusão) e a presença de fatores antinutricionais intrínsecos a cada alimento, os quais podem comprometer a digestibilidade e o desempenho zootécnico se não forem devidamente analisados quimicamente.

A seguir, serão detalhados os aspectos técnicos dos principais ingredientes proteicos e energéticos avaliados nesta revisão, abordando suas potencialidades e limitações para a avicultura moderna.

2.1.1 DDGS / DDG-HP

O setor de biocombustíveis no Brasil passou por uma transformação drástica na última década. Segundo Nolasco (2025), o país elevou sua produção de milho de 40 para 140 milhões de toneladas nos últimos 20 anos, sendo 100 milhões provenientes da segunda safra. Esse excedente impulsionou o segmento de etanol de milho que, em 2019, produzia menos de 1 bilhão de litros. Esse volume saltou para 8 bilhões de litros na safra 2024/25, atingindo antecipadamente as metas previstas para 2030, com potencial de alcançar 20 bilhões de litros até 2032 (UNEM, 2025). A busca global por combustíveis renováveis provenientes da biomassa, visando a substituição de fontes fósseis, consolida o bioetanol como uma solução estratégica para mitigar impactos ambientais (Manochio *et al.*, 2017). Este biocombustível é majoritariamente produzido a partir do processamento do amido (milho) e da sacarose (cana-de-açúcar), que constituem matérias-primas renováveis de alta eficiência.

Embora o Brasil possua uma matriz histórica baseada na cana-de-açúcar, a influência do cenário mundial, liderado pelos Estados Unidos, aliada ao recente crescimento da produção interna (EPE, 2019; Rosseto *et al.*, 2017) consolidaram o milho indispensável na matriz energética nacional. Essa matérias-primas permite uma maior segurança no abastecimento e a utilização estratégica dos excedentes de grãos, transformando o milho em um pilar para a

produção sustentável de energia e coprodutos proteicos utilizado na ração animal.

Essa expansão é sustentada pela elevada eficiência industrial do cereal em comparação à matriz histórica de cana-de-açúcar. De acordo com Goldemberg e Guardabassi (2010), enquanto uma tonelada de cana produz entre 70 e 90 litros de etanol, a mesma quantidade de milho gera cerca de 390 a 410 litros. Entretanto, ao analisar a produtividade por área, Marchetti (2023) observa que a cana-de-açúcar apresenta médias de 72,6 toneladas por hectare (ton/ha), valor superior aos 5,1 ton/ha obtidos com o milho. Apesar da menor densidade de biomassa por área, o milho oferece vantagens operacionais decisivas, pois é uma matéria-prima de fácil manuseio e possui capacidade de armazenamento superior a dois anos, permitindo o gerenciamento da variação de preços da *commodity* (Centro de Conhecimento em Bioenergia, 2025; Silva *et al.*, 2013).

Embora a produção nacional seja concentrada em outras regiões, o Norte e Nordeste apresentam crescimento consolidado, atraindo investimentos significativos. Com uma participação de pouco menos de 6% da produção nacional de etanol de milho, o Nordeste já conta com biorrefinarias em operação em Alagoas e no Maranhão, com autorizações para novas unidades na Bahia e Pará (CONAB, 2025). Paralelamente, a produção de etanol de cana permanece robusta na região, com destaque para Pernambuco, Alagoas e Paraíba, evidenciando o potencial regional para a coexistência de ambas as matrizes energéticas.

A crescente demanda por soluções mais eficientes e sustentáveis na alimentação de frangos de corte tem impulsionado a indústria a buscar novas alternativas. Nesse contexto, o DDGS e o DDG-HP) se destacam como ingredientes promissores.

A industrialização do milho para a obtenção de bioetanol ocorre, fundamentalmente, por meio de dois métodos distintos: a via úmida (*Wet Milling*) e a via seca (*Dry Milling*). Na via úmida, o grão de milho é submetido a um tratamento inicial com água e ácido sulfúrico para permitir o fracionamento da semente em seus componentes primários, como amido, gérmen e

fibra (Kindberg, 2010).

Por outro lado, a via seca é o método amplamente adotado pelas biorrefinarias modernas, representando mais de 70% da produção global (Alves *et al.*, 2012). No Brasil, essa técnica é a predominante devido à sua eficiência operacional e ao foco na produção de biocombustíveis e coprodutos para nutrição animal (Rech, 2021; Andretta, 2022). Nesse processo, os grãos são moídos integralmente e passam por etapas sequenciais de cozimento, liquefação, sacarificação, fermentação e separação, conforme ilustrado na Figura 1.

O processamento por via seca é caracterizado pela conversão eficiente do amido em glicose e, posteriormente, em álcool combustível. Além do etanol, o processo gera dióxido de carbono e os grãos de destilaria (DDGS/DDG-HP), que se consolidam como valiosas fontes proteicas e energéticas para o setor avícola.

Com esse processamento, surgem os coprodutos destinados à alimentação animal. O DDGS resulta da extração do amido, processo que concentra proporcionalmente os demais constituintes do grão, como proteínas e minerais (SILVA *et al.*, 2021). O DDG-HP, por sua vez, emerge como uma opção com densidade proteica ainda mais elevada, redefinindo estratégias nutricionais na avicultura (Maiorka, 2025).

Figura 1 - Fluxograma do processo de obtenção do DDGS e DDG-HP a partir da destilação do milho para produção de etanol.

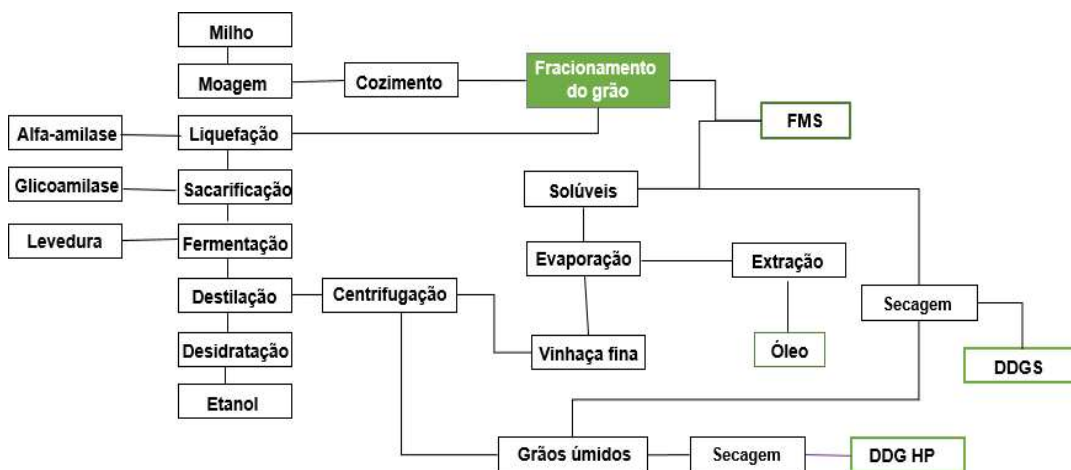


Figura 1 – Fluxograma do processo moagem seca com fracionamento frontal para a produção de bioetanol de milho. Fonte: FS Bioenergia.

Contudo, a utilização desses ingredientes exige cautela. Santos Filho e Bertol (2017) ressaltam que um fator limitante crucial é a variação significativa na composição nutricional entre diferentes fontes. Dados na literatura indicam flutuações acentuadas na Energia Bruta (EB) e na Proteína Bruta (PB) em função do processo produtivo (Song *et al.*, 2010; Stein *et al.*, 2006). Tal variabilidade reforça a necessidade de caracterização precisa e atualizada dos perfis nutricionais antes do fornecimento às aves, garantindo a eficácia na substituição de fontes proteicas tradicionais. Essa oscilação é influenciada pelo local e período de plantio, pelas condições de armazenamento e, sobretudo, pelas variáveis de processamento, como a temperatura utilizada nas etapas industriais.

Apesar do elevado teor proteico e fontes ricas em aminoácidos, energia e fósforo disponível (Santos Filho e Bertol, 2017), um dos principais limitantes para a inclusão do DDGS e do DDG-HP em dietas avícolas é essa acentuada variação na composição nutricional, a qual impacta diretamente a digestibilidade e a qualidade dos aminoácidos. Conforme apontam Martinez-Amezcuca *et al.*, 2007; Olentine, 1986, essa oscilação é determinada, além da composição bromatológica da matéria-prima, também por outros fatores, como a proporção de solúveis adicionados, a eficiência de conversão e, fundamentalmente, o binômio temperatura e duração da secagem industrial.

Dados na literatura indicam flutuações significativas nos níveis de energia bruta e proteína bruta (Song *et al.*, 2010; Stein *et al.*, 2006), o que reforça a necessidade de análises laboratoriais rigorosas e constantes para garantir a precisão das formulações avícolas (Silva *et al.*, 2021).

As variações na composição bromatológica e nos valores energéticos entre o DDGS e o DDG-HP podem ser observadas na Tabela 1, que sintetiza os dados reportados por diferentes autores nacionais e internacionais.

Tabela 1 - Análise da composição química e da energia DDGS/DDG-HP de acordo com a literatura

Composição (%)	Ingrediente					
	DDGS ¹	DDGS ²	DDGS ³	DDGS ⁴	DDG-HP ⁴	DDG-HP ⁵
MS	90,62	88,9	88,90	90,20	91,60	93,50
MM	4,68	5,11	6,52	3,80	2,86	2,94
PB	25,65	30,54	33,97	33,81	45,96	51,67
EE	2,33	12,00	12,26	8,51	12,99	14,52
FB	-	6,99	9,90	8,76	7,50	-
FDN	72,95	30,09	47,36	53,77	32,86	39,75
FDA	18,77	9,50	-	13,19	18,56	-
EB (Kcal/Kg)	4791	-	-	5298	5800	5269

¹Schone et al. (2017); ²Salim et al. (2010); ³Spiels et al. (2002); ⁴Rostagno et al. (2024); ⁵Corassa et al. (2021)

A análise precisa do valor nutricional desses coprodutos torna-se essencial para a elaboração de rações de baixo custo e alto rendimento (Tabela 1). A obtenção desses ingredientes envolve diversas fases industriais, as quais são fundamentais para definir o perfil nutricional e a qualidade final dos produtos destinados à alimentação animal.

Observa-se uma variação da concentração de FDN e FDA do DDGS de 30,09% a 72,95% e de 9,50% a 18,77%, respectivamente, tendo maior quantidade de fibra no DDGS. Essa maior quantidade de fibra no DDGS é porque o processo de produção do DDG-HP envolve a remoção física de componentes fibrosos (casca/pericarpio) do milho antes da fermentação, além de reincorporar menos ou nenhum dos solúveis, concentrando proteína e reduzindo o volume total de fibra. Isto justifica que o DDGS apresenta alta variabilidade nutricional, enquanto que os valores de DDG-HP são mais próximos entre os autores.

Vale ressaltar que, segundo Urriola e Stein (2014), deve-se ter cautela durante o processo de secagem tanto para o DDGS como no processamento do DDG-HP, devido o superaquecimento da massa pode provocar a desnaturação proteica, sendo a lisina, o aminoácido mais afetado, seguido pelo triptofano e pela metionina. De acordo com Nunes

(1998), relatou que uma das causas mais comuns do excesso de calor, sobre as proteínas é a reação de Maillard, na qual o aminoácido lisina combina-se com açúcares redutores e aldeídos, tornando o aminoácido biologicamente indisponível para o animal.

Além da variabilidade bromatológica já discutida, a elevada concentração de Polissacarídeos Não Amiláceos (PNAs) no DDGS representa um desafio adicional, pois pode reduzir o aproveitamento energético da dieta. Como o amido é removido durante o processo de fermentação, os demais nutrientes são recuperados em uma forma até três vezes mais concentrada (Salim *et al.*, 2010), o que resulta em um aumento proporcional de PNAs em comparação ao milho em grão (Babcock *et al.*, 2008; Pedersen *et al.*, 2014).

Os PNAs Insolúveis (Fibra), são como celulose e lignina e pode encapsular nutrientes (proteínas e amido residual), tornando-os inacessíveis às enzimas digestivas. Além disso, a fibra insolúvel provoca um aumento na taxa de passagem da digesta, reduzindo o tempo de absorção dos demais nutrientes. Já os PNAs Solúveis, elevam a viscosidade da digesta (o conteúdo intestinal), o que dificulta a difusão e a ação das enzimas (proteases e amilases). No contexto geral da avicultura, a alta concentração de PNAs resulta em menor digestibilidade de energia e aminoácidos e, conseqüentemente, em piora na conversão alimentar.

Outro fator crítico na utilização desses coprodutos é a concentração de micotoxinas, que também pode ser até três vezes superior à encontrada no milho original (Zhang *et al.*, 2009). Esse acúmulo ocorre porque as micotoxinas não são destruídas durante o processamento industrial, tornando a qualidade do grão destinado à produção de etanol, o principal determinante da segurança sanitária do ingrediente final.

Nesse contexto, Soares *et al.* (2005) ressaltam que diversos fatores influenciam os valores de energia metabolizável (EM) dos alimentos, incluindo a idade das aves, o tipo de alimento, a taxa de consumo e a metodologia empregada para a determinação da EM, além dos fatores antinutricionais.

Devido a essas variáveis, a literatura científica apresenta recomendações diversas quanto aos níveis de inclusão do DDGS. Essa divergência é atribuída às oscilações na composição bromatológica e na digestibilidade dos nutrientes entre as diferentes fontes de produção, além de depender da fase de criação das aves. Tais evidências reforçam a importância da análise precisa de cada lote, visando uma nutrição de precisão que garanta a eficiência energética e econômica do sistema produtivo.

Quanto à aplicação prática, Lumpkins *et al.* (2004) avaliaram a inclusão de até 18% de DDGS em dietas para frangos de corte e não verificaram alterações no ganho de peso, na conversão alimentar ou no rendimento de carcaça. Os autores concluíram que o coproduto pode ser utilizado até esse limite sem comprometer o desempenho zootécnico das aves.

Portanto, para o balanceamento ideal de dietas, é fundamental considerar rigorosamente as características qualitativas e a biodisponibilidade de nutrientes e energia. Essa atenção é crucial em estratégias de substituição de ingredientes base, garantindo que a performance das aves não seja prejudicada (Tonissi *et al.*, 2013).

2.1.2 Soja semi-integral extrusada

A soja semi-integral extrusada (SSIE) caracteriza-se como um importante ingrediente proteico-energético para a formulação de rações avícolas. Nutricionalmente, apresenta teores de proteína bruta entre 40% e 45% e de extrato etéreo entre 8% e 9%, o que lhe confere densidade energética superior à do farelo de soja convencional (Rostagno *et al.*, 2024; Scottá, 2011). A principal vantagem do uso da SSIE na nutrição de aves reside na redução da necessidade de inclusão de óleos ou gorduras suplementares nas dietas, mas, isso vai depender da estratégia da dieta para frangas de corte. Com isso, o óleo residual do grão não é totalmente

removido durante o processo de prensagem mecânica, resultando em um ingrediente com níveis energéticos elevados e maior praticidade operacional na fábrica de rações.

Embora a soja integral extrusada (SIE) seja reconhecida como um ingrediente de alto valor, seu elevado teor lipídico (aproximadamente 18% de gordura) limita sua inclusão em dietas que requerem alta concentração proteica e menor densidade energética (Rostagno *et al.*, 2024). Essa limitação é frequentemente contornada através do uso combinado de farelo de soja (como fonte proteica) e óleo de soja (suplementação energética).

Para visar uma solução nutricional integrada e eficiente, o grão de soja extrusado é submetido à prensagem mecânica, processo que reduz o teor lipídico original e gera a soja semi-integral extrusada (SSIE). Esse processamento eleva, proporcionalmente, a concentração dos demais nutrientes, com destaque para a fração proteica (Rostagno *et al.*, 2024). A SSIE caracteriza-se como um ingrediente equilibrado, permitindo um controle energético rigoroso nas dietas de frangos de corte e reduzindo a dependência de inclusões elevadas de óleo suplementar. Consequentemente, o uso desse ingrediente confere maior flexibilidade na formulação, facilitando o ajuste das rações às exigências específicas de cada fase produtiva das aves.

No entanto, a utilização da SSIE é condicionada por fatores econômicos e limitações estruturais. Sob a visão estratégica, a inclusão desse ingrediente nas formulações depende das oportunidades do mercado de *commodities*. Em períodos de alta valorização do óleo degomado para venda externa, a extração total de óleo pode ser financeiramente mais vantajosa para a indústria do que a sua manutenção no farelo.

Além do aspecto econômico, existe uma barreira técnica relevante, a infraestrutura da fábrica. Nem todas as unidades fabris dispõem do conjunto de equipamentos necessário (especificamente a prensa mecânica acoplada à extrusora), para realizar a extração parcial de

óleo. Portanto, a adoção da SSIE como estratégia nutricional exige tanto uma análise de viabilidade logística, quanto uma constante monitoria do cenário comercial de óleos e gorduras.

O processo de obtenção da SSIE baseia-se utilizando o grão extrusado à prensagem mecânica, etapa que promove a extração parcial de lipídeos. Essa redução no teor gorduroso resulta na concentração proporcional dos demais nutrientes, elevando significativamente a fração proteica do ingrediente. Na nutrição de frangos de corte, a SSIE caracteriza-se como um ingrediente equilibrado, permitindo um controle rigoroso da densidade energética das rações e mitigando a necessidade de inclusão elevada de óleos suplementares. Consequentemente, o uso deste coproduto confere maior flexibilidade nutricional, facilitando o ajuste das dietas às exigências específicas de cada fase do ciclo produtivo das aves.

O Brasil desempenha um papel de destaque no cenário mundial da soja, sendo o maior produtor e exportador global do grão. O país ocupa a segunda posição em volume de estoques finais e o terceiro em processamento do grão, além de ser o terceiro maior produtor de farelo de soja, atrás apenas da China e dos Estados Unidos. O Brasil também se posiciona como o quarto consumidor e o segundo maior exportador de óleo de soja, superado apenas pela Argentina (Coêlho; Ximenes, 2025; USDA, 2025).

O cenário global atual é marcado por uma crescente preocupação com as mudanças climáticas e seus impactos negativos. Essa conjuntura tem motivado governos, organizações e instituições a buscarem soluções e alternativas que possam mitigar tais consequências (Garbin; Henkes, 2018). Neste contexto, o biodiesel ganhou imensa relevância mundial. Sua produção e uso experimentaram um crescimento expressivo, consolidando-o como uma das principais alternativas viáveis aos combustíveis fósseis derivados de fontes não renováveis (Ramos *et al.*, 2017). O uso da soja é amplificado por seu papel como a principal matéria-prima na produção nacional de biodiesel, respondendo por 73% do insumo total. Atualmente, existe uma proposta

legislativa em tramitação, visando a elevação gradual da proporção de biodiesel misturado ao diesel convencional, com o objetivo de atingir 20% até o ano de 2030 (Coelho; Ximenes, 2025).

O aumento progressivo da mistura compulsória de biodiesel ao diesel fóssil, com o mandato de 15% (B15) estabelecido em agosto de 2025, aliado ao aquecimento da demanda externa, constitui um cenário estratégico para a cadeia produtiva da soja. Tais tendências possuem o potencial de redefinir a dinâmica de equilíbrio entre a oferta e a demanda de óleo e farelo (Coelho; Ximenes, 2025).

Embora o maior volume de esmagamento de soja para fins energéticos resulte em uma oferta elevada de farelo, a demanda pelo óleo vegetal é significativamente tracionada pelo crescimento do setor de biocombustíveis. Dado que a soja representa aproximadamente 78% da matriz nacional de biodiesel, a consolidação do B15 (O termo B15 refere-se à mistura obrigatória de 15% de biodiesel ao óleo diesel de origem fóssil (diesel mineral) comercializado nos postos de combustíveis.), assegura uma demanda cativa e resiliente pelo óleo de soja, influenciando diretamente a disponibilidade de coprodutos para a alimentação animal (Coelho; Ximenes, 2025).

A soja integral extrusada e os demais coprodutos da extração do grão de soja, são fontes ricas em proteína e energia para monogástricos (como aves e suínos), apresentando-se como uma alternativa economicamente viável ao uso combinado de farelo e óleo vegetal. Contudo, o consumo do grão *in natura* não é viável (Liener, 2000). A limitação deve-se à presença de substâncias antinutricionais que atuam como mecanismos de defesa da planta e comprometem sua digestibilidade e o aproveitamento nutricional (Lima Júnior *et al.*, 2010).

Os principais antinutrientes encontrados são os inibidores de proteases, que tem a função de bloquear a ação das enzimas digestivas (tripsina e quimotripsina), as Lectinas (hemaglutininas), podem causar a aglutinação dos glóbulos vermelhos e as Saponinas, que são

responsáveis pela ruptura de eritrócitos em laboratório (Nunes *et al.*, 2001a). Para que coprodutos como a soja semi-integral possam ser utilizados na alimentação de não-ruminantes, a inativação desses compostos termolábeis é essencial.

O tratamento térmico é o procedimento fundamental para desativar esses componentes e otimizar o valor nutricional da soja. Os processos de soja semi-integral extrusada, processada e desativada referem-se tecnicamente a diferentes métodos térmicos aplicados com o objetivo de inativar fatores antinutricionais e melhorar a digestibilidade. Diversas tecnologias foram desenvolvidas para esse fim, sendo as mais utilizadas comercialmente a tostagem e a extrusão (Waldroup, 1982). Outros métodos incluem micronização, expansão, autoclavagem e uso de micro-ondas ou radiação (Jorge Netto, 1992; Nunes *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2005).

Para assegurar a eficácia do processamento e a qualidade nutricional da soja, utilizam-se indicadores laboratoriais que monitoram os limites do tratamento térmico, evitando tanto o subprocessamento, quanto a degradação excessiva dos nutrientes.

A atividade ureática é o método padrão para verificar a suficiência do calor aplicado, funcionando como o principal indicador de subaquecimento. Embora a enzima urease não apresente impacto antinutricional significativo para aves (monogástricos), sua termolabilidade é altamente correlacionada com a dos inibidores de tripsina. Portanto, uma redução na atividade da urease serve como um indicador indireto de que o calor foi suficiente para inativar os agentes antinutricionais mais críticos. Os valores são expressos pela variação do pH. Enquanto a AU monitora o calor insuficiente, a Solubilidade da Proteína em Hidróxido de Potássio (KOH) é o parâmetro utilizado para detectar o superaquecimento. Esse teste avalia o grau de desnaturação proteica e a integridade dos aminoácidos após o processamento (Nunes *et al.*, 2015). O primeiro serve como um indicador indireto da presença de fatores antinutricionais, sinalizando um

processamento inadequado quando o calor é insuficiente, enquanto o segundo indica superaquecimento.

No Brasil, o mecanismo convencional para o processamento da soja é a extração por solvente orgânico (geralmente hexano), associada à tostagem. Este método industrial compreende múltiplos estágios sequenciais, como: limpeza, quebra, laminação, expansão e extração, permitindo a remoção eficiente do óleo vegetal. Em seguida, o farelo é submetido ao aquecimento para a inativação de fatores antinutricionais termolábeis, como os inibidores de tripsina e a enzima urease, garantindo um ingrediente de alta qualidade para dietas de aves e suínos.

Em contrapartida, a produção da SSIE passa por uma rota distinta. Inicialmente, os grãos de soja passam pelo processo de extrusão e, na sequência, esses grãos de soja que foi extrusado é submetida a uma prensa mecânica. Nessa etapa, ocorre a extração parcial do óleo original (entre 40% e 50%), resultando em um coproduto que retém uma fração lipídica controlada. A prensa desempenha um papel crucial nesse sistema de esmagamento, pois permite a obtenção de um ingrediente com densidade energética superior ao farelo convencional, preservando parte da gordura do grão em uma forma altamente disponível para o animal.

Quando é considerado o impacto do custo de processamento no preço final do produto, cresce o interesse por métodos mais econômicos, como a desativação ou pré-cozimento do grão de soja. Nesse método, os grãos inteiros são tratados com vapor, calor e vácuo, resultando na soja integral desativada com custos de processamento relativamente menores (Freitas, 2003).

Em última análise, o valor nutricional da soja integral é diretamente influenciado pela eficácia do processamento (Jorge Netto, 1992; Navarro, 1992; Sakomura *et al.*, 2004), o que justifica o rigor na escolha da técnica industrial.

Para obter a soja semi-integral extrusada, logo após a extrusão a soja deverá ser submetida à um processo de prensagem. Imediatamente após o tratamento térmico por extrusão, a soja é direcionada ao processo de prensagem mecânica para a obtenção da fração semi-integral. Para esta etapa, utilizou-se uma prensa mecânica (modelo LDS), equipada com motor de 60 cv e capacidade nominal de 5 t/h, conforme ilustrado na Figura 2.

A sequência lógica das etapas de processamento, desde a recepção da matéria-prima até a obtenção da Soja Semi-Integral Extrusada (SSIE), está detalhada no fluxograma abaixo:

- Etapa 1: Recepção e Pré-limpeza – Remoção de impurezas e padronização do grão *in natura*.
- Etapa 2: Descascamento – Separação da casca visando a redução da fibra e o aumento da densidade proteica.
- Etapa 3: Extrusão a Seco – Processamento térmico realizado sob temperaturas e tempo de retenção controladas. Esta etapa visa a desnaturação de fatores antinutricionais e a expansão do grão para facilitar a extração posterior de óleo.
- Etapa 4: Prensagem Mecânica – Extração parcial da fração lipídica da massa extrusada para ajuste energético.
- Produto final: Soja Semi-Integral Extrusada (SSIE) – Ingrediente pronto para a formulação das dietas experimentais. Na Figura 2, segue uma prensa mecânica modelo LDS contendo motor de 60 cv marca Weg com capacidade de 5 toneladas por hora.

Figura 2 - Prensa utilizadas para obtenção da soja semi integral extrusada em diferentes temperaturas



Lima (2016).

Segundo as observações de Lima *et al.* (2014), a extrusão a seco é mais vantajosa que a úmida, uma vez que, o produto pode ser preservado por muito mais tempo devido a sua baixa umidade. Nessa extrusão a temperatura fica entre 130-150 °C, que é atingida sem condicionador ou caldeira, devido a seu autoaquecimento. O processamento da extrusão da soja a seco, é realizada com a própria umidade natural do grão (em torno de 10-12%) e o calor gerado pelo atrito (fricção) mecânico dentro do equipamento para cozinhar o alimento, sem a necessidade de injeção externa de vapor ou água em grandes quantidades. A extrusão é um processo de cozimento sob pressão, umidade e alta temperatura, curto tempo, pressão e fricção do ingrediente no cone de extrusão (Loon, 1997), sendo que as principais funções deste processo são hidratação, mistura, tratamento térmico, gelatinização do amido, desnaturação das proteínas, inativação dos fatores antinutricionais, destruição dos micro-organismos e de alguns componentes tóxicos (Cheftel, 1986).

Nesse processo, o grão de soja é plasticizado e cozido por meio de uma combinação de pressão, calor e cisalhamento mecânica. Essa ação mecânica de fricção é intensa (extrusão seca o grão de soja inteiro ou moído é empurrado pelo condicionador através de uma rosca transportadora, que é composta por obstáculos), rompendo assim, as paredes celulares e os vacúolos de gordura, expondo os lipídios. Isso facilita o aproveitamento da energia da soja pelas

enzimas digestivas dos animais. Esse ciclo dentro da extrusora dura entre 30 a 40 segundos, uma temperatura de 115 a 120 graus centígrados e uma pressão de 30 a 60 atmosferas (Essa pressão não permite liberação da água dos grãos). A temperatura do produto cai de 130 para 80 graus centígrados em segundos e a gordura que estava efervescente e extracelular é rapidamente absorvida, formando a soja integral extrusada e expandida, com alta digestibilidade (Borges *et al.*, 2003).

Mas, para obter a soja semi-integral extrusada como produto da extrusão, é realizado o processo mecânico de separação parcial do óleo, através de um equipamento denominado prensa. A prensa do tipo parafuso contínuo retira da soja extrusada integral de 40 a 50% de óleo. A prensa é constituída de um cesto de barras de aço retangulares, distanciadas por lâminas. O espaçamento das barras é regulado para permitir a saída do óleo e ao mesmo tempo filtrar os resíduos da prensagem. Dentro do cesto, uma rosca movimenta e comprime o material simultaneamente, pois a pressão é controlada através de um cone de saída. Esse farelo prensado é denominado “torta”, isto é, soja semi-integral extrusada (SSIE), farelo gordo ou farelo rico. Após a prensagem a SSIE passa por resfriamento para ser armazenada ou utilizada na ração. (Constança, 2013).

Conforme o Rostagno *et al.* (2024), a soja semi-integral extrusada e a tostada são quimicamente semelhantes em teores de proteína (40,20%), lipídios (10,50%) e energia bruta (4.456 kcal/kg). Contudo, a extrusão potencializa a digestibilidade dos nutrientes, resultando em valores de proteína e gordura digestíveis, bem como de energia metabolizável, mais elevados para o desempenho avícola, devido a gelatinização do amido, além de desativar os fatores antinutricionais encontrados no grão da soja, que são mecanismos de proteção natural da planta (Liener, 2000).

Os agentes antinutricionais da soja causam danos por diferentes mecanismos, sendo o inibidor de tripsina o de maior importância prática, dada sua termoestabilidade e seu impacto

fisiológico. Os Inibidores de Tripsina (IT) representam 6% a 10% da proteína total (Carvalho, 1996). Complexam-se com as enzimas tripsina e quimiotripsina, bloqueando a digestão proteica (Borges *et al.*, 2003). A baixa digestibilidade proteica estimula a liberação de colecistoquinina, que induz o pâncreas a hiperproduzir enzimas, resultando em hipertrofia pancreática e perda de aminoácidos sulfurados (Clarke *et al.*, 2005). O IT é o principal indicador de processamento, pois sua inativação garante o controle dos demais fatores termolábeis (Liener, 2000).

Já as Hemaglutininas (Lectinas), ligam-se à mucosa intestinal, causando danos celulares e diminuindo drasticamente a absorção de nutrientes (Borges *et al.*, 2003). Na questão à resistência térmica dos fatores antinutricionais, as lectinas apresentam maior sensibilidade ao tratamento térmico (termolabilidade) quando comparadas aos inibidores de tripsina (Parsons, 1998). Essa diferenciação é fundamental para o monitoramento da eficiência do processamento, uma vez que a inativação das lectinas ocorre em estágios anteriores à desnaturação completa dos inibidores enzimáticos.

Quanto ao ácido fítico (ou fitato), este composto atua como um potente agente quelante, complexando-se com minerais bivalentes, como zinco, ferro, cálcio e frações proteicas. Essa ligação química torna esses nutrientes indisponíveis para a absorção no trato digestório de animais monogástricos, reduzindo a biodisponibilidade da dieta. Adicionalmente, devido à baixa atividade da enzima fitase endógena em aves, a maior parte do fósforo contido nesta molécula não é aproveitada pelo organismo, sendo majoritariamente excretada. Esse fenômeno não apenas aumenta o custo de formulação (exigindo suplementação de fósforo inorgânico), mas também eleva o potencial poluente dos dejetos no meio ambiente (Borges *et al.*, 2003; Raboy *et al.*, 1991).

As Saponinas são glicosídeos, no qual o conteúdo na soja é baixo, cerca de 0,5% - 0,6%, que conferem sabor amargo e podem alterar a permeabilidade da mucosa intestinal, inibindo o transporte de nutrientes (Liener, 2000) e as Lipoxigenases são enzimas que oxidam ácidos

graxos, gerando compostos voláteis que causam gosto desagradável (ambas). São inativadas a partir de 85° C e são mais termolábeis do que os inibidores de tripsina (Borges *et al.*, 2003).

Há outros fatores antinutricionais como os Goitrogênicos (que inibem a captação de iodo), antivitaminas A e E (que aumentam a necessidade desses nutrientes), fatores alergênicos (glicinina e β -conglucina), que causam danos nas microvilosidades (Borges *et al.*, 2003) e os Polissacarídeos Não Amiláceos (PNA), como rafinose e estaquinose, são indigeríveis e elevam a viscosidade do conteúdo intestinal, reduzindo a energia metabolizável e prejudicando a absorção de outros nutrientes (Brito *et al.*, 2008).

Para que a soja semi-integral extrusada seja segura e nutricionalmente otimizada para a alimentação animal, é imperativo que o tratamento térmico aplicado seja eficaz na inativação dos componentes tóxicos. O controle inadequado do calor é o principal risco, pois quantidades insuficientes de calor não eliminam os agentes antinutricionais, enquanto o superaquecimento pode resultar na destruição de aminoácidos ou em reações que os tornam indigestíveis, como a Reação de Maillard (Nunes *et al.*, 2001a).

Para monitorar esse processo e garantir o controle de qualidade, são utilizados métodos analíticos cruciais (Nunes *et al.*, 2015), Atividade ureática (indicador de subaquecimento), que é o método padrão para verificar a suficiência do calor aplicado, sendo um indicador de subprocessamento (ou subaquecimento). Embora a urease não seja um agente antinutricional de grande impacto em não-ruminantes, ela é termolábil e sua inativação é correlacionada com a inativação dos demais agentes antinutricionais mais críticos, como os inibidores de tripsina. A análise baseia-se na liberação de amônia da ureia pela urease. O valor recomendado para a atividade ureática é tipicamente de 0,05 a 0,3 unidades de pH (Anfar, citado por Sakomura, 1996). Então, valores acima desse intervalo sugerem subaquecimento, falhando na eliminação dos fatores tóxicos.

Após o processamento, a soja integral ou semi-integral extrusadas devem passar por um

controle de qualidade para assegurar a destruição adequada dos fatores antinutricionais. O principal desafio é determinar a quantidade exata de calor necessária para garantir a melhor qualidade nutricional desses ingredientes (Costa *et al.*, 2006).

A soja integral ou semi-integral extrusada tem um ponto ideal de aquecimento para ser utilizada na alimentação de monogástricos. Ultrapassar esse ponto resulta em perdas de qualidade, pois enquanto não o atingir pode inviabilizar a utilização dos produtos devido à presença dos fatores antinutricionais (Borges *et al.*, 2003). A solubilidade proteica, que é um indicador de superaquecimento (geralmente medida em KOH), avalia o grau de desnaturação da proteína e é utilizada para detectar o risco de superaquecimento do ingrediente (Nunes *et al.*, 2015). Esses são os métodos de controle de qualidade mais comuns, os quais, destacam-se o índice de atividade ureática e a solubilidade da proteína em KOH a 0,2%.

A faixa ideal é consistente com uma faixa de solubilidade proteica entre 73% e 85%. Então, valores abaixo de 70% sugerem superaquecimento, indicando dano à proteína por reações como a de Maillard e valores acima de 85% podem indicar que a soja foi subprocessada. Isso significa que embora a proteína não tenha sido danificada pelo calor, o tratamento foi insuficiente para inativar todos os agentes antinutricionais da soja semi-integral.

Conforme destaca Alvarenga (2012), a precisão no fornecimento de nutrientes para aves depende diretamente da correta mensuração do valor energético dos ingredientes. Isso ocorre porque a densidade energética da dieta é o principal fator que regula a quantidade de alimento ingerida pelos animais.

Na Tabela 2 são mostrados a variação dos valores nutricionais e energéticos da soja semi-integral extrusada.

Tabela 2 - Análise da composição química da Soja Semi-Integral Extrusada de acordo com a literatura

Composição (%)	Ingredientes				
	SSI 12,2% EE ¹	SSI 13,8 % EE ¹	SSI 17,72% EE ¹	SSI 18,87% EE ¹	SSI10,5% EE ²
MS (%)	93,31	93,48	93,64	92,97	91,40
MM (%)	5,74	5,75	5,46	5,41	5,96
PB (%)	44,65	43,47	41,01	40,88	43,98
EE (%)	12,20	13,80	17,72	18,80	11,49
FB (%)	-	-	-	-	7,25
FDN (%)	8,09	9,77	10,71	11,25	20,02
FDA (%)	8,15	8,16	8,06	8,29	14,88
EB (Kcal/Kg)	5211	5312	5504	5573	4875,27

¹Meireles (2016); ²Rostagno *et al.* (2024).

Dentre as amostras estudadas por Meireles (2016), a soja com menor teor de gordura (12,2% de EE) apresentou a maior concentração proteica (44,65% de PB). À medida que a retenção de óleo na SSIE aumenta, a proporção relativa de proteína diminui, chegando a 40,88% de PB na amostra com 18,87% de EE. Comparando o perfil fibroso, onde as amostras de Meireles (2016) apresentam teores de FDN e FDA significativamente menores (média de 9,9% e 8,1%, respectivamente). Os teores de Rostagno *et al.* (2024) indicam fibra muito superiores (20,02% de FDN e 14,88% de FDA) e uma EB menor (4875 kcal/kg).

Essa diferença sugere que a soja referenciada por Rostagno *et al.* (2024) possivelmente não passou por um processo de descascamento tão eficiente quanto às amostras de Meireles (2016), ou que o cultivar utilizado possuía uma proporção maior de casca, o que eleva os constituintes da parede celular e reduz a digestibilidade da energia.

A variabilidade nutricional observada em produtos de soja é em grande parte, reflexo da tecnologia de processamento empregada. No estudo de Stringhini *et al.* (2000), os resultados demonstram que a digestibilidade dos aminoácidos da soja integral tostada foi

significativamente inferior à da soja extrusada e da combinação de farelo de soja com óleo, as quais apresentaram comportamentos semelhantes entre si.

Segundo Lima (2016), os valores de EMA e EMAn foram influenciadas significativamente pelas temperaturas de extrusão da soja semi-integral. Os maiores valores de EMA (3720,09 Kcal/ Kg) e de EMAn (3424,99 Kcal/Kg) foram obtidos com a temperatura de extrusão da soja semi-integral de aproximadamente 105,6°C.

O tratamento térmico durante a extração do óleo pode influenciar a digestibilidade de certos aminoácidos, especialmente a lisina. De acordo com Nunes (1998) relatou que uma das causas mais comuns do excesso de calor, sobre as proteínas é a reação de Maillard, na qual o grupo épsilon do aminoácido lisina combina-se com açúcares redutores e aldeídos, tornando o aminoácido biologicamente indisponível para o animal.

Um aspecto crucial na avaliação da qualidade do farelo de soja é verificar se ele foi submetido a um processamento inadequado, seja por superaquecimento ou subaquecimento. O superaquecimento pode resultar na reação de Maillard, que gera uma coloração caramelizada devido à formação do pigmento melanodina (Ward, 1996). Por outro lado, o subaquecimento também é prejudicial, pois o farelo de soja contém fatores antinutricionais que podem interferir na digestão em aves e suínos (Swick, 1998).

O calor excessivo durante os tratamentos hidrotérmicos é causa de significativas perdas nutricionais conforme relataram Mendes *et al.* (2004) em função da reação de Maillard, na qual há interação de aminoácidos com açúcares redutores que se combinam com o grupo épsilon da lisina, formando produtos indisponíveis aos processos digestivos, ao passo que temperaturas baixas de extrusão mantém os fatores antinutricionais da soja.

Para garantir a eficácia da nutrição de precisão, torna-se indispensável o estabelecimento de matrizes nutricionais diferenciadas para cada tipo de soja processada, evitando-se o uso de

valores genéricos que possam comprometer o desempenho zootécnico das aves (Stringhini *et al.*, 2000).

2.1.3 Farelo de algodão

O algodão (*Gossypium spp.*) é uma das primeiras plantas cultivadas pelo ser humano, com seu uso datando de mais de 4.000 anos. O gênero *Gossypium* inclui várias espécies distribuídas em todo o mundo, mas apenas quatro são destinadas à produção de fibras de algodão: *Gossypium hirsutum L.*, *Gossypium barbadense L.*, *Gossypium arboreum L.* e *Gossypium herbaceum L.* Dentre essas, a *G. hirsutum* é a mais importante economicamente, sendo responsável por aproximadamente 90% da produção global de algodão (Freire *et al.*, 2003).

O cultivo do algodão é principalmente pela sua fibra, que é amplamente utilizada na indústria têxtil, em produtos farmacêuticos e hospitalares. Além disso, suas sementes são utilizadas tanto na extração de óleo vegetal quanto na alimentação animal (Blanco, 2008). De acordo com Araújo *et al.* (2003), essa planta possui diversas aplicações e pode ser totalmente aproveitada pelo ser humano, razão pela qual é frequentemente chamada de "boi vegetal".

O algodão é a principal fibra têxtil do mundo e representa o maior produto agrícola das Américas. Tanto a fibra, que é o produto principal, quanto os subprodutos como sementes, linter, óleo, torta, farelo e cascas, atendem a diversos segmentos socioeconômicos, incluindo os setores farmacêutico-hospitalar, têxtil e nutricional, tanto para humanos quanto para animais. Além disso, esses subprodutos podem ser utilizados como adubo orgânico (Carneiro, 2009).

A cultura do algodão desempenha um papel significativo em nível mundial, fornecendo matéria-prima essencial para setores que atendem a necessidades básicas da população e têm grande importância econômica, como vestuário, produtos farmacêuticos e hospitalares. O

principal produto da cotonicultura é a fibra de algodão, mas todas as partes do algodoeiro são aproveitáveis. As sementes de algodão, em particular, são valiosas tanto para a produção de óleo quanto para o fornecimento de ração animal, seja de forma *in natura* ou extrusada. Para cada 100 kg de algodão em pluma, obtém-se uma média de 26,23 kg de farelo (Lopes, 2003).

Conforme reportado pela Associação Brasileira dos Produtores de Algodão (Abrapa, 2024), o Brasil projeta uma alta histórica na produção de algodão, impulsionada pela expansão da área cultivada. A safra de algodão 2024/25 no Brasil promete alcançar um novo recorde de produção, com estimativa de 3,97 milhões de toneladas de pluma. Esse volume representa um crescimento de 8% em relação à safra anterior.

Segundo Stevanatto (2025), o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), confirma que o Brasil é o terceiro produtor e o maior exportador de algodão em pluma. A projeção para a próxima safra é de que esse cenário se mantenha. O Brasil está ocupando o espaço dos Estados Unidos no mercado internacional, tornando-se uma potência global na produção e exportação da fibra. Atualmente, o Brasil é responsável por 14,1% da produção mundial de pluma e por 30,5% das exportações globais. Já os Estados Unidos, principal concorrente, responde por 12% da produção global e por 27% das exportações.

Conforme Gadelha *et al.* (2014), as sementes de algodão podem ser aproveitadas tanto na alimentação humana quanto no animal. Após a extração do óleo, um coproduto na forma de torta e farelo é gerado, podendo ser utilizado como uma fonte proteica na dieta animal. O uso de derivados do algodão, como o farelo de algodão, é amplamente reconhecido, devido à sua composição nutricional favorável e à presença de proteína de alta qualidade. De fato, o farelo de algodão é o terceiro farelo proteico mais produzido globalmente, ficando atrás apenas do farelo de soja e do farelo de canola. No entanto, a utilização do caroço de algodão pode

apresentar problemas, principalmente em decorrência da toxicidade do gossipol e dos ácidos graxos ciclopropenóides (Marsiglio, 2015).

O farelo de algodão apresenta boa aceitabilidade pelos animais, pois é rico em fósforo e pobre em lisina, triptofano, vitamina D e vitamina A (Lana, 2000). Possui enormes variações em sua composição química, devido à forma de processamento, em cultivar e na quantidade de cascas incluídas, o que acarreta falta de padronização da composição dos produtos encontrados no mercado (Cardoso, 1998), dificultando a formulação de rações. Assim, pode-se ter farelos de algodão com baixos teores de fibra e altos teores de proteína (Rezende *et al.*, 2012).

Geralmente, encontra-se disponível em duas formas, uma sem casca e outra rica em casca, que é recomendada para alimentação de ruminantes. O farelo de algodão sem casca apresenta 43% de proteína bruta, enquanto que o farelo com casca apresenta de 25 a 36% de PB, expressos na matéria seca (Lana, 2005).

O farelo de algodão constitui uma alternativa proteica de baixo custo relativo, apresentando-se como um ingrediente viável para a formulação de dietas destinadas a não ruminantes (Prawirodigdo *et al.*, 1997). Contudo, sua aplicação em larga escala na avicultura é limitada por fatores intrínsecos, notadamente o desequilíbrio no perfil de aminoácidos essenciais, o elevado teor de fibra e a presença do gossipol, um pigmento polifenólico com efeitos tóxicos cumulativos, que podem comprometer o desempenho produtivo e a integridade intestinal.

Nesse contexto, a viabilidade nutricional deste coproduto é diretamente proporcional à eficiência do processamento industrial, especialmente no que tange à separação das cascas. Farelos com reduzidos teores de fibra são os únicos recomendados para aves e suínos, dada a limitada capacidade dessas espécies em hidrolisar polissacarídeos estruturais. Segundo Teixeira (2003), a fração fibrosa do algodão é composta majoritariamente por celulose, seguida de

lignina e hemicelulose. A predominância da celulose e da lignina confere ao ingrediente uma característica de baixa digestibilidade para monogástricos.

Conseqüentemente, a acentuada variabilidade na composição bromatológica do farelo de algodão decorre do rigor empregado no processo de fabricação. É fundamental destacar que a inclusão de cascas atua como um fator de diluição nutricional, porque quanto maior a proporção de material tegumentar remanescente, maior será o incremento de fibra de baixa qualidade (lignificada), resultando em reduções significativas nos teores de proteína bruta e energia metabolizável do produto final. Portanto, para a nutrição de precisão, a classificação do farelo de algodão deve ser pautada no seu conteúdo fibroso para evitar o desajuste das matrizes nutricionais.

O farelo de algodão é obtido a partir de várias etapas de extração, iniciando-se com a remoção da pluma e do línter do caroço de algodão. Após essa etapa, a casca do caroço é retirada para facilitar a compressão e a posterior extração do óleo. Para a extração do óleo, é necessário realizar a extrusão do caroço após a compressão. Existem dois métodos principais para a extração do óleo: o primeiro consiste em uma nova compressão, que, embora simples, é menos eficiente na extração total do óleo e resulta em um produto final com maior nível de extrato etéreo; o segundo método utiliza o solvente hexano (C_6H_{14}), que é o solvente mais comumente empregado. Essa mistura de hidrocarbonetos possui um ponto de ebulição em torno de $70^{\circ}C$ e apresenta maior eficiência na extração de óleos de origem vegetal.

Após esses processos, é formada a torta de algodão e o óleo de algodão. Para a formação do farelo de algodão é necessária a retirada do solvente, tostagem e moagem dessa torta. O processamento do caroço de algodão pode chegar a gerar 45% de farelo de algodão e 16% de óleo de algodão.

De acordo com Araújo *et al.* (2003), o processamento do caroço de algodão, que é um subproduto do beneficiamento e descaroçamento da pluma, resulta em um material coberto por linter e rico em óleo. Este material é composto por cerca de 60% de amêndoa e 40% de fibra. Após a quebra das cascas, o grão liberado apresenta um teor proteico que varia entre 30% e 40%, tornando-se uma fonte valiosa para a produção de subprodutos, como o farelo de algodão, amplamente utilizado na formulação de rações para animais.

O farelo de algodão é obtido após a separação da casca e a extração do óleo do caroço, realizada por meio de prensagem mecânica e solvente, que após essa prensagem, o produto resultante é moído. O teor de proteína no farelo pode variar conforme a proporção de casca incluída no produto final, sendo geralmente comercializado com teores proteicos que ficam entre 28% e 38%. O método de processamento é fundamental para distinguir os diferentes subprodutos disponíveis no mercado, que se relacionam com os níveis de proteína, fibra e óleo residual. Esses teores dependem da eficiência do processamento na separação das cascas (Barbosa; Gattás, 2004).

O esquema na figura 3, mostra como ocorre a obtenção do farelo de algodão, que se dá pela extração da gordura do caroço de algodão, resultando num resíduo com 1,0 a 2,0% de óleo residual e elevada concentração de proteínas.

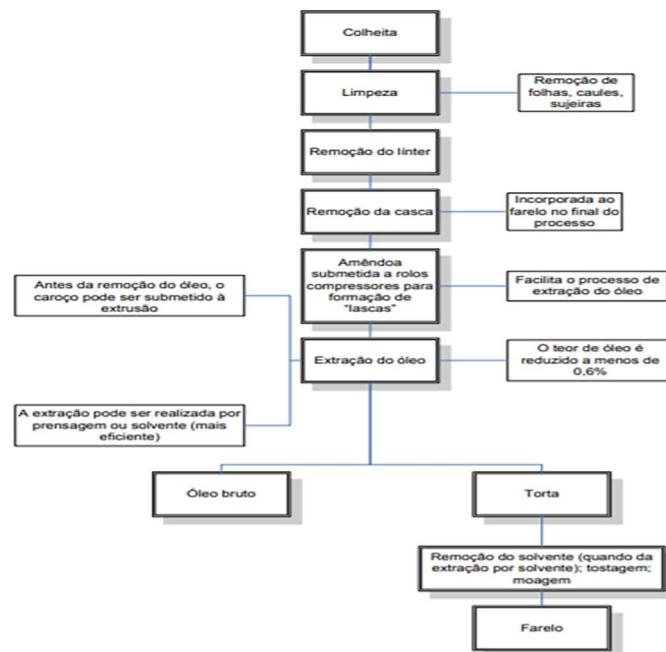


Figura 3 - Processamento do algodão para fabricação do farelo de algodão (Teixeira *et al.*, 2009).

Conforme afirmou Butolo (2002) e Araújo *et al.* (2003), o processamento pode ocorrer por prensagem mecânica ou extração com solvente, dando origem a torta e o farelo, respectivamente. A torta obtida por prensagem mecânica apresenta maior teor de óleo residual e coloração mais escura, enquanto o farelo obtido na extração por solvente tem menor teor de óleo residual e coloração amarelo-clara.

As etapas do processamento começam com o descaroçamento e deslintage, onde o primeiro passo é a retirada da fibra longa (algodão têxtil). O que sobra é o caroço de algodão, que ainda possui fibras curtas aderidas (línter). Na deslintage, as máquinas tem a função da retirada do línter. Nesta etapa, é importante frisar que se for mal feita, o farelo final terá muita fibra e baixa energia.

A etapa seguinte é o descascamento e separação, em que ocorrerá os rompimentos das cascas e serão separadas da amêndoa (parte interna rica em óleo e proteína). O ponto crítico nesta etapa é a parte da casca, onde ela é propositalmente adicionada de volta ao farelo para ajustar o teor de proteína final (ex: para atingir 38% de PB).

Na etapa seguinte, temos a extração do óleo, onde teremos a energia definida (determinam-se o farelo será de "Alta" ou "Baixa" energia):

- ✓ Prensagem Mecânica (Expeller), teremos o óleo extraído apenas por pressão. Esse método é menos eficiente na retirada da gordura, resultando em um farelo com alto Extrato Etéreo (EE) e, conseqüentemente, maior EMA/EMAn;
- ✓ Extração por Solvente, onde utiliza-se produto químico (hexano) para retirar quase todo o óleo. O farelo resultante tem baixo EE (1-2%) e menor densidade energética;
- ✓ Processo Direto ou Pré-prensagem, neste caso, teremos a combinação dos dois métodos acima, comum em grandes indústrias para maximizar o rendimento do óleo. O Extrato Etéreo (EE) final é baixo (semelhante ao método por solvente, variando de 1% a 2%).

Waldroup e Kersey (2002) analisaram a composição nutricional do farelo e da torta de algodão, obtidos por meio de extração mecânica e química em 16 fábricas nos Estados Unidos. Os autores constataram que devido a diferentes métodos de manejo, a variabilidade é mais pronunciada nas concentrações de fibra bruta (FB) e extrato etéreo (EE).

Segundo Waldroup e Kersey (2002), o tipo de processamento aplicado ao caroço de algodão resulta em diferentes variedades de farelo disponíveis no mercado, variando em relação ao teor de proteína, óleo residual e fibra. Prawirodigo *et al.* (1997) destacam que o farelo de algodão, com seu elevado teor de proteína bruta e custo acessível, representa uma alternativa viável para a formulação de dietas destinadas a monogástricos. Como um subproduto da indústria têxtil, esse alimento possui boa disponibilidade e tem atraído o interesse dos pesquisadores devido ao seu potencial nutricional. O teor de proteína bruta varia entre 24,9% e

44,3% (Samay, 2012), enquanto a energia metabolizável corresponde a aproximadamente 60% a 70% do valor energético do farelo de soja (Souza, 2003).

No entanto, esse ingrediente apresenta fatores antinutricionais, como o gossipol, polissacarídeos não amiláceos e ácido fítico (Amorim *et al.*, 2011). Outro problema relatado por Pimentel *et al.* (2007), é a baixa disponibilidade de aminoácidos, principalmente da lisina, uma vez que este aminoácido se complexa com o gossipol, reduzindo sua absorção no trato gastrintestinal. Entretanto, alguns trabalhos têm demonstrado que este alimento pode substituir parcialmente o farelo de soja na formulação das dietas para frangos de corte sem prejuízo ao desempenho das aves.

A literatura científica apresenta resultados consistentes sobre a viabilidade da inclusão do farelo de algodão em dietas avícolas, desde que as deficiências em aminoácidos essenciais sejam corrigidas. Ao investigarem frangos de corte na fase inicial (7 a 21 dias), Henry *et al.* (2001) constataram que a utilização de 20% de farelo de algodão (44% de PB) não comprometeu o desempenho das aves, contanto que a dieta fosse suplementada com 2% de lisina sintética para compensar a baixa disponibilidade deste aminoácido no ingrediente.

Nesse mesmo sentido, Ojewola *et al.* (2006) avaliaram a substituição integral ou parcial do farelo de soja pelo de algodão, observando a manutenção dos índices produtivos associada a uma significativa otimização da viabilidade econômica das rações. O uso estratégico desse coproduto pode reduzir os custos de formulação sem sacrificar o ganho de peso ou a conversão alimentar.

Adicionalmente, as características de carcaça podem ser favorecidas por essa substituição. Santos (2006) verificou um incremento linear no rendimento de cortes nobres — como peito, coxa e sobrecoxa — além de asa e dorso, ao elevar os níveis de substituição da proteína do farelo de soja pela proteína do farelo de algodão (35,1% de PB) em até 40% da dieta. Esses

achados sugerem que, sob balanço aminoacídico adequado, o farelo de algodão promove uma deposição tecidual eficiente em frangos de corte.

O gossipol é um composto polifenólico de cor amarela que foi isolado pela primeira vez em 1899. O nome é derivado a partir do gênero científico da planta (*Gossypium*) combinado com a terminação "ol" a partir do fenol (Blanco, 2008) (Figura 4).

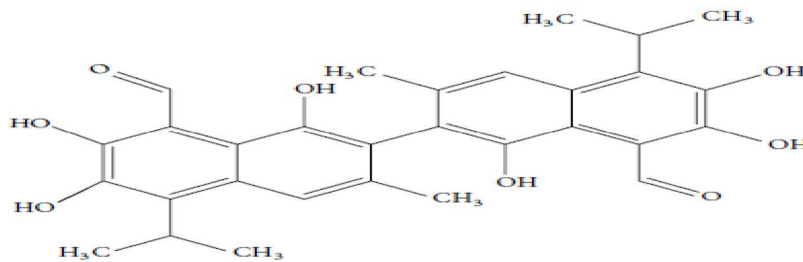


Figura 4 - Fórmula química do gossipol. Fonte: Gadelha et al., 2011

Durante o processamento da torta de sementes de algodão, uma parte significativa do gossipol é removida na etapa de cozimento. No entanto, ainda é possível encontrar tanto as formas "livres" quanto as "conjugadas" desse composto. A forma "livre" é considerada tóxica, pois pode comprometer a capacidade do sangue de transportar oxigênio, levando a uma respiração mais curta e ao desenvolvimento de edema pulmonar. Os sinais de intoxicação incluem anorexia, dificuldade respiratória, fraqueza, problemas reprodutivos, edema cardíaco agudo, alterações nos glóbulos vermelhos e até mesmo a morte. O principal efeito tóxico do gossipol observado em não-ruminantes é a modificação dos glóbulos vermelhos (Marsiglio, 2015).

Assim como observado em outros derivados da indústria de ingredientes processados, o farelo de algodão apresenta uma acentuada variabilidade em sua composição bromatológica, por ser um coproduto resultante de diferentes intensidades de processamento agroindustrial, que variam desde o nível de descascamento até o método de extração da fração lipídica.

A Tabela 3 apresenta uma compilação de dados da literatura científica, destacando as oscilações nos principais componentes nutricionais e na energia bruta (EB) reportadas por diversos autores. Essa amplitude de valores reforça a importância das análises laboratoriais.

Tabela 3 - Análise da Composição Química (em base na MS) do Farelo de algodão de acordo com alguns autores

Composição (%)	Ingredientes			
	Farelo Algodão ¹	Farelo Algodão ²	Farelo Algodão ³	Farelo Algodão ³
MS (%)	89,10	88,99	90,60	90,00
MM (%)	6,70	4,89	5,50	6,78
PB (%)	43,15	31,79	31,24	42,33
EE (%)	1,34	1,29	1,41	2,94
FB (%)	14,55	25,10	26,16	17,11
FDN (%)	32,78	46,49	47,13	32,89
FDA (%)	6,70	33,08	36,53	19,33
EB (Kcal/Kg)	4696,97	4527,47	4605,96	4726,67

¹Brumano (2005); ²Generoso *et al.* (2008); ³Rostagno *et al.* (2024)

A variação mais expressiva ocorre no teor de Proteína Bruta (PB), que oscila entre 31,24% e 43,15%. Nota-se um efeito de diluição inversamente proporcional entre a proteína e a fibra. Na amostra apresentada por Brumano (2005), apresenta-se o maior teor proteico (43,15%) associado a um baixo nível de FDA (6,70%). Isso indica um processo de descascamento altamente eficiente, resultando em um ingrediente de alto valor biológico para aves. Já na amostra de Rostagno *et al.* (2024), temos a menor concentração de PB (31,24%) e o maior teor de fibra bruta (26,16%) e FDN (47,13%). Esse perfil é típico de farelos com alta inclusão de cascas, o que reduz drasticamente a densidade nutricional e a digestibilidade para monogástricos.

Nas frações fibrosas (FDN e FDA), temos uma correlação ampla nos valores de fibra em detergente neutro (FDN), que variam de 32,78% a 47,13%, em que reforça a importância da classificação comercial desse ingrediente. Segundo a literatura, o excesso de FDN em dietas de

aves acelera a taxa de passagem e pode reduzir a absorção de outros nutrientes. A amostra de Rostagno *et al.* (2024), a FDA (fibra em detergente ácido), com 36,53% de sugere uma fração altamente lignificada, o que limita severamente a Energia Metabolizável do alimento.

Os extratos etéreos (EE) e eficiência de extração, os níveis de lipídeos residuais refletem o método de extração utilizado. As amostras com EE próximo a 1% (Brumano (2005); Generoso *et al.* (2008); Rostagno *et al.* (2024a)) indicam um processo de extração por solvente de alta eficiência. Já as amostras com EE de 3,5% (Rostagno *et al.* (2024b)) sugerem uma pré-prensagem ou uma extração por solvente menos rigorosa, o que contribui para a manutenção de uma Energia Bruta (EB) ligeiramente superior.

2.2 EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO PARA ESTIMAR A EMA E EMAN DE ALIMENTOS DE ORIGEM VEGETAL EM FRANGOS DE CORTE

Na nutrição de precisão, a análise energética define a viabilidade econômica de um ingrediente na ração. A Energia Metabolizável (EM) é amplamente preferida por representar com maior exatidão a fração energética disponível para os processos metabólicos das aves. Essa preferência consolidou-se a partir dos estudos pioneiros de Hill e Anderson (1958), que provaram a superioridade da EM sobre a energia produtiva, devido à sua baixa oscilação e maior confiabilidade nos cálculos de rações.

A energia representa o componente de maior custo nas dietas avícolas, onde os valores energéticos dos insumos serão um requisito para o sucesso da produção. Conforme destaca Sibbald (1982), a otimização dos índices produtivos e a viabilidade econômica do sistema dependem de uma compreensão minuciosa das exigências das aves e do potencial energético real de cada ingrediente utilizado.

A precisão do valor energético dos alimentos é fundamental para a nutrição avícola, pois

a energia é um dos fatores limitantes do consumo e está diretamente ligada ao desempenho e ao custo da ração (Scottá *et al.*, 2016). Embora a indústria de rações opere sob demanda constante por rapidez e previsibilidade, a determinação rigorosa da EMAn para cada ingrediente alternativo é um processo inviável. Ensaio biológico (*in vivo*) são dispendiosos, demorados e incompatíveis com a velocidade do mercado (Eshtejarani, 2024).

O valor de EMAn dos ingredientes, especialmente de coprodutos (DDGS, HP-DDG, soja semi-integral e farelo de algodão), é amplamente influenciado pela variabilidade da sua composição físico-química (Lima *et al.*, 2013). Múltiplos fatores, como genética, condições de cultivo (Silva *et al.*, 1986) e principalmente o processamento térmico, armazenamento e moagem, impactam diretamente os coeficientes de digestibilidade (Langone *et al.*, 2023).

A utilização generalizada de um valor médio de EMAn baseado em tabelas de composição compromete a precisão do balanceamento das dietas (Meireles, 2016). Essa imprecisão pode não atender às exigências, ou mesmo a excesso de nutrientes, resultando em menor manifestação do potencial produtivo, maior excreção ambiental e aumento do custo de produção (Meireles, 2016).

Para obter sucesso na formulação, o conhecimento preciso do conteúdo energético é essencial (Albino *et al.*, 1992). A energia dietética disponível para o tecido animal é expressa como Energia Metabolizável (EM). A determinação da EM é feita por métodos diretos (*in vivo*), utilizando ensaios de digestibilidade em aves. O método mais refinado é a determinação da EMAn, obtida pela correção para o balanço de nitrogênio (Mello *et al.*, 2009). Os valores energéticos são medidos em gaiolas (baterias) metálicas com a coleta de excretas e análise em bomba calorimétrica (Zonta *et al.*, 2004).

Existem variações do ensaio biológico, como o método tradicional de coleta total de excretas (Sibbald; Slinger, 1963) e o método de coleta parcial de excretas ou alimentação precisa (Sibbald, 1976), que utiliza indicadores externos (como a Celite).

A determinação da EM é sensível a múltiplos fatores, incluindo a metodologia de ensaio, a retenção de nitrogênio, a idade, a espécie da ave, o processamento e o nível de inclusão do alimento (Scottá *et al.*, 2016). Além disso, a digestibilidade da energia tende a aumentar com a idade da ave (Mello *et al.*, 2009), sendo os menores valores de EM observados nas primeiras semanas, devido à baixa atividade de enzimas (amilase, lipase) e à capacidade digestiva não totalmente desenvolvida (Sakomura *et al.*, 2004).

Já as equações de predição para estimar a EMAn dos alimentos são rápidas e baseadas em parâmetros químicos e físicos dos alimentos, os quais são facilmente obtidos (Latifi *et al.*, 2023). Para a indústria, o uso dessas equações é vital para realizar ajustes rápidos na formulação em resposta às variações na composição dos ingredientes (Rostagno *et al.*, 2007).

Entretanto, a precisão das equações é variável, os fatores como o tamanho e a representatividade da amostra (Zhao *et al.*, 2008) e a variabilidade das técnicas analíticas podem afetar o sucesso da predição (Sibbald, 1982). Críticas apontam que muitas equações falham ao não considerar que os componentes (proteínas, lipídios, carboidratos) não são igualmente digeríveis em todos os alimentos (Alvarenga *et al.*, 2013b).

As equações são tipicamente regressões, nas quais o coeficiente de determinação (R^2) é o indicador da qualidade do ajuste (Queiroz, 2010). Diversos autores (Janssen, 1989; Rodrigues *et al.*, 2002) desenvolveram equações para prever a EMAn de soja e seus subprodutos, geralmente demonstrando que equações com múltiplas variáveis, como Extrato Etéreo (EE) e Fibra Bruta (FB) oferecem maior precisão.

Um estudo de metanálise para estimar a EMAn dos coprodutos DDGS e o DDG-HP, resultou em equações com um R^2 de 81%, demonstrando a viabilidade da técnica. As variáveis mais importantes foram a Fibra em Detergente Neutro (FDN), Fibra em Detergente Ácido (FDA) e Fibra Bruta (FB), que são as que mais impactam a variabilidade energética (NAGATA *et al.*, 2003). Poderemos resumir que as formulações de rações requerem a busca constante por

ferramentas rápidas e precisas, que complementem os dispendiosos ensaios in vivo, sendo as equações de predição fundamental para consolidação da nutrição energética de precisão no setor produtivo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Digestibilidade de Aves da Universidade Federal Rural de Pernambuco nos meses de setembro e outubro de 2024. O experimento seguiu todos os protocolos de boas práticas de manejo de animais e teve aprovação pela Comissão de Ética Animal desta universidade, sob o número de protocolo nº 4474190224.

Os ingredientes em que foram avaliados seu valor nutricional foram: Grãos secos de destilaria com alto teor de proteína (Dried Distillers Grains High Protein DDG-HP), Grãos secos de destilaria com solúveis (Dried Distillers Grains with Solubles – DDGS), soja semi-integral extrusada (SSIE) com 8% e 12% de extrato etéreo, e farelo de algodão com 28% e 38% de proteína bruta). Foram procedentes de diferentes regiões produtoras do Brasil, o DDG-HP e DDGS foram provenientes da empresa INPASA no estado do Mato Grosso do Sul (MS), as amostras de SSIE com teores de 8% e 12% de extrato etéreo (EE) foram procedentes do município de Caruaru – PE e o s farelos de algodão com níveis de 28% e 38% de proteína bruta (PB) foi da Empresa Óleos Menu Indústria e Comércio Ltda, no município de Guararapes no estado de São Paulo (SP).

3.1 AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS ALIMENTOS

As análises físicas realizadas em cada ingrediente foi a densidade (g/l) e granulometria (μm), de acordo com a metodologia descrita por Zanotto (2008). Quanto às análises químicas foram o teor de matéria seca (MS), PB, EE, FB e matéria mineral (MM) seguindo a metodologia

descrita por Detmann *et al.* (2012). Além disso, foi analisada a Energia Bruta (EB) de acordo com a AOAC INTERNATIONAL (2019), (calorímetro - 1341 Plain Jacket Bomb Calorimeter). A análise do Gossipol foi realizada na Embrapa algodão, segundo a metodologia de Conceição *et al.* (2018).

3.2 EXPERIMENTO DE METABOLISMO

3.2.1 Alojamento dos frangos de corte antes e durante o experimento, delineamento e período experimental

Foram utilizados 300 pintos de um dia, machos, da linhagem Ross 308 AP. Previamente ao alojamento, o galpão experimental passou por um rigoroso protocolo de limpeza e desinfecção, abrangendo cortinas, tubulações, reservatórios de água e equipamentos (comedouros e bebedouros infantis). Adicionalmente, foram aplicadas medidas de biossegurança na desinfecção das instalações.

No período que antecedeu a chegada do lote, realizou-se o pré-aquecimento do ambiente para assegurar que a temperatura da cama permanecesse entre 32 °C e 35 °C. A cama composta por maravalha foi devidamente nivelada com espessura de 5 a 10 cm, visando perdas térmicas. A umidade relativa do ar foi monitorada e mantida na faixa de 60% a 70% com o auxílio de ventilação mínima para renovação do ar. O programa de luz na chegada do lote foi de vinte três horas de luz e 1 hora sem luz. aa

As aves permaneceram no galpão até os 14 dias de idade, com acesso *ad libitum* a uma dieta única farelada, à base de milho e farelo de soja, formulada para atender integralmente às exigências nutricionais da fase pré-inicial, depois a fase inicial, conforme as recomendações de Rostagno *et al.* (2024). O fornecimento de água foi realizado de forma contínua, utilizando água

fresca (18 °C a 21 °C), clorada (3 a 5 ppm) e com pH controlado. A altura dos bebedouros do tipo *nipple* foi ajustada diariamente ao nível dos olhos das aves para facilitar o acesso.

Aos 14 dias de idade, 252 aves foram selecionadas com base no peso médio ($\pm 10\%$) e transferidas para o Laboratório de Digestibilidade de Aves do Departamento de Zootecnia da UFRPE. Medidas de biossegurança, incluindo desinfecção das instalações foram aplicadas juntamente com outros manejos necessários durante o alojamento inicial. As aves foram distribuídas em um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) com sete tratamentos e seis repetições, utilizando as 42 gaiolas metabólicas.

As gaiolas metabólicas tinham umas dimensões aproximadas de 1,00 / 0,50 / 0,60 cm e eram equipadas com bebedouros tipo copinho, garantindo acesso constante à água e aos comedouros, tipo calha com acesso *ad libitum*.

O período experimental teve duração de oito dias, sendo cinco dias dedicados à adaptação das aves às dietas e instalações, seguidos por três dias de coleta parcial de excretas. Durante todo o período experimental, a sala do laboratório experimental era mantida com uma temperatura que varia entre 20 °C a 22 °C, com uma umidade relativa do ar em torno de 60% a 70%. Essas variáveis ambientais foram rigorosamente monitoradas por meio de termômetros de máxima e mínima, posicionados à altura das aves, visando garantir o conforto térmico.

3.2.2 Tratamentos e Dietas experimentais

Os tratamentos foram compostos por ração referência (Tabela 4), formulada a base de milho e farelo de soja, a fim de atender às exigências das aves, segundo Rostagno *et al.* (2024) e 6 rações teste com nível de substituição da RR por cada ingrediente em 30% (DDG-HP, DDGS, SSIE 8% de EE, SSIE 12% de EE, farelo de algodão de 28% de PB, farelo de algodão de 38% de PB). Nas dietas foram adicionados o indicador Celite® a 1%, caracterizado como mineral indigestível, com a finalidade de obter o fator de indigestibilidade.

Tabela 4 - Formulação da ração referência demonstrando os ingredientes e composição nutricional

Ingredientes	%
Milho 7,65%	52,8234
Farelo de Soja 45%	38,8576
Óleo de Soja	3,5189
Fosfato Bicálcico	2,1681
Calcário	1,1194
Sal comum	0,5235
DL-Metionina	0,4028
L-Lisina	0,2791
L-Treonina	0,1572
Premix vitamínico para Aves ¹	0,1
Premix mineral para Aves ²	0,05
Composição nutricional	(%)
Proteína Bruta	22,34
Energia Metabolizável (kcal/kg)	3000
Cálcio	1,076
Extrato Etéreo	6,2877
Fibra Bruta	2,7541
Fósforo Disponível	0,513
Sódio	0,217
Aminoácidos digestíveis	(%)
Met + Cis.	0,974
Lisina	1,335
Treonina	0,881
Triptofano	0,2454
Fenilalanina + Tirosina	1,7105
Histidina	0,5267
Isoleucina	0,8548

¹Níveis de garantia por quilo do produto premix vitamínico**: Selênio (mínimo) 300,00 mg/kg. **Níveis de garantia por kg do produto: Niacina (mínimo) 32,00 g/kg; Biotina (mínimo) 150,00 mg/kg; Ácido Pantotênico (mínimo) 13,00 g/kg; Vitamina A (mínimo) 10.000.000,00 UI/g; Vitamina B1 (mínimo) 2.400,00 mg/kg; Vitamina B12 (mínimo) 15.600,00 mg/kg; Vitamina B2 (mínimo) 6.000,00 mg/kg; Vitamina B6 (mínimo) 3.200,00 mg/kg; Vitamina D3 (mínimo) 2.450.000,00 UI/g; Vitamina E (mínimo) 18.000,00 UI/g; Vitamina K3 (mínimo) 3.640,00 mg/kg; BHT (mínimo) 100,00 mg/kg. ²Níveis de garantia por kg do produto - Mineral*: Iodo (mínimo) 1.0800,00 mg/kg; zinco (mínimo) 110,0 mg/kg; Cobre (mínimo) 18,00 mg/kg; Ferro (mínimo) 10,00 mg/kg; Manganês (mínimo) 200,00 g/kg.

3.2.3 Coleta das excretas

As excretas foram coletadas pelo método de coleta parcial, durante 3 dias em horários predefinidos: às 8h da manhã e às 14h. Para facilitar a coleta do material, as bandejas das gaiolas de metabolismo foram forradas com lona preta de 50 micras. Antes de cada coleta eram retiradas as penugens das aves sobre as excretas para evitar contaminação da amostra. Após cada coleta, as bandejas eram limpas, retirando o restante das excretas, penas, resíduos de ração e lavadas com água. Após esse processo, o material coletado (300 g de excretas) foi colocado em sacos plásticos identificados e armazenadas em freezer (congelado) para futura homogeneização e análises.

Ao final do período experimental, as excretas coletadas em cada unidade experimental (repetição) foram descongeladas, reunidas as amostras coletadas dos 3 dias separadamente para cada repetição e homogeneizadas, posteriormente retirada uma alíquota de aproximadamente 200g e submetidas a pré-secagem na estufa de ventilação forçada a 55 °C por 72 horas. Após este período foram retiradas da estufa, resfriadas e pesadas para obtenção da pré-MS. As amostras pré-secas foram moídas em moinho tipo faca (tipo Willey), utilizando peneira com malha de 1 mm para garantir a uniformidade granulométrica necessária às análises químicas e armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados em freezer.

3.2.4 Análises químicas das dietas e das excretas e parâmetros determinados

As análises químicas foram a concentração da MS, N, PB, EE e EB nas dietas e nas excretas pré-secas. Além disso, foi analisado a cinzas insolúveis em ácidos (CIA) para os cálculos do fator de indigestibilidade que por diferença, obtém-se os coeficientes de digestibilidade. Subsequentemente, foram calculados os coeficientes de metabolização aparente da energia bruta (CMAEB), da matéria seca (CMAMS), da proteína bruta (CMAPB), dos

valores da energia metabolizável aparente (EMA) e da energia metabolizável aparente corrigida para a retenção de nitrogênio (EMAn), por meio de equações descritas por Sakomura *et al.* (2024).

Para os cálculos, foram utilizadas as seguintes fórmulas de acordo com o método de coleta parcial utilizando o indicador:

- FI (Fator de indigestibilidade) = CIA dieta / CIA excreta
- CMMS = (1-FI) x 100
- $$\text{CMPB} = \frac{(\% \text{ PB dieta}) - (\% \text{ PB excretas}) \times \text{FI} \times 100}{(\% \text{ PB dieta})}$$
- EMA dieta DR/DT = EB dieta – (EB excreta X FI)
- $$\text{EMA alimento} = \text{EMA DR (dieta referência)} + \frac{\text{EMA DT} - \text{EMA DR}}{\text{g alimento/ g dieta}}$$
- BN (Balanço do nitrogênio) – quantidade de N na dieta – (quantidade de N na excreta X FI)
- EMAn dieta DR/DT = EB dieta – (EB excreta X FI) – (BN x 8,22)
- $$\text{CMMS, CMPB E CMEB do alimento} = \text{CMMS DR} + \frac{\text{CMMS DT} - \text{CMMS DR}}{\text{g alimento/ g dieta}}$$
- $$\text{EMAn alimento} = \text{EMAn DR} + \frac{\text{EMAn RT} - \text{EMAn RR}}{\text{g alimento/ g dieta}}$$

3.3 EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO UTILIZADAS PARA ESTIMAR A EMAN DOS CO-PRODUTOS A PARTIR DOS DADOS DE COMPOSIÇÃO E NUTRIENTES DIGESTÍVEIS EXPERIMENTAIS

Foi realizada uma comparação entre a Energia Metabolizável Aparente corrigida para nitrogênio (EMAn) determinadas no presente experimento com as estimadas, que foram

calculadas a partir das equações do NRC (1994), utilizando os valores de composição nutricional específica para cada alimento e pela equação proposta por Rostagno *et al.* (2024), utilizando os nutrientes digestíveis calculados com dados provenientes também do experimento para todos os alimentos estudados. As citadas equações podem ser vistas na Tabela 5.

Tabela 5 - Equações de predição utilizadas no trabalho

Ingrediente	NRC (1994)
Farelo de Algodão	$EMAn = (21,26 \times MS) + (47,13 \times EE) - (30,85 \times FB)$
Soja Semi-Integral Extrusada	$EMAn = (2769) - (59,1 \times FB) + (62,1 \times EE)$
DDGS / DDG-HP	$EMAn = (39,15 \times MS) - (39,15 \times MM) - (9,72 \times PB) - (63,81 \times EE)$
Rostagno <i>et al.</i> (2024)	
$EMAn = (4,31 \times PBd) + (9,29 \times EEd) + (4,14 \times ENNd)$	

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os valores de EMAn foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA). Inicialmente, aplicou-se o teste de Levene para verificar a homogeneidade das variâncias. Atendido esse pressuposto, procedeu-se à ANOVA. Quando houve diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. Nos casos em que a premissa de homogeneidade não foi atendida, aplicou-se o teste não paramétrico de Kruskal–Wallis, seguido, quando necessário, do teste post hoc de Dunn. Em todas as análises, adotou-se nível de significância de 5%.

Os procedimentos estatísticos foram realizados com auxílio do software Jamovi® (versão 2.3).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E COEFICIENTES DE METABOLIZAÇÃO DA

MS, PB, EE, ENN, DA EB E OS VALORES DETERMINADOS DE EMA E EMAn DOS INGREDIENTES ESTUDADOS

4.1.1 DDG-HP e DDGS

A composição química e os valores de energia bruta (EB) dos ingredientes DDG-HP (Tabela 6) e DDGS (Tabela 7) do presente experimento e de alguns dados da literatura.

Tabela 6 – Composição físico-química do DDG-HP do encontrado no presente experimento e conforme as literaturas citadas (em base na MS)

Composição (%)	Ingrediente		
	DDG-HP ¹	DDG-HP ²	DDG-HP ³
MS	92,02	91,60	93,50
PB	47,89	45,96	51,67
EE	8,20	12,99	14,52
FB	9,50	7,50	-
MM	2,71	2,86	2,94
ENN	31,70	-	-
EB (Kcal/Kg)	5209	5800	5269
Granulometria (µm)	437,3	-	-
Densidade (g/L)	0,67	-	-

¹ Dados de presente experimento; ²Rostagno *et al.* (2024); ³Corassa *et al.* (2021)

Tabela 7 – Valores de composição nutricional do DDGS do encontrado no presente experimento e conforme as literaturas citadas (em base na MS).

Composição (%)	Ingrediente		
	DDGS ¹	DDGS ²	DDGS ³
MS	88,07	90,62	88,90
PB	36,51	25,65	30,54
EE	6,80	2,33	12,00
FB	10,07	-	7,00
MM	5,62	4,68	5,11
ENN	41,00	-	-
EB (Kcal/Kg)	4524	4791	-
Granulometria (µm)	471,9		
Densidade (g/L)	0,62		

¹ Dados de presente experimento; ²Rostagno *et al.* (2024); ³Corassa *et al.* (2021)

Os valores de granulometria do DDG-HP e DDGS (437,3 para DDG-HP e 471,9 para o DDGS) está pouco superior ao de Caldas *et al.* (2020), que foi de 408 µm. Quanto à densidade (0,67 g/L para o DDG-HP e 0,62 g/L para o DDGS) também foram próximos ao valor encontrado por Huang *et al.* (2017) de 0,51 g/L.

Comparando os valores de PB dos nossos resultados obtidos através do experimento, observamos que o DDG-HP apresenta um valor dentro da literatura que varia de 45,96% (Rostagno *et al.*, 2024) a 51,67% (Corassa *et al.*, 2021). Isso confirma que o processo de fracionamento do milho foi eficiente.

No entanto, o teor de EE do DDG-HP apresentou uma diferença significativa, em que a literatura aponta teores de 12,99% a 14,52%. O nosso experimento foi de 8,20%, diferença encontrada também no teor de FB de 9,50%, um pouco mais elevado dos encontrados por Rostagno *et al.* (2024) de 7,50%, indicando que o produto estudado pode conter uma fração residual ligeiramente maior de casca do milho.

Quanto ao DDGS, o valor protéico do presente estudo (36,51%), ficou acima dos demais artigos apresentados, do pesquisador Schone *et al.* (2017) e Spiels *et al.* (2002) reportam valores entre 25,65% e 33,975%, respectivamente. O teor de EE obtemos de 6,80%, é característico de um DDGS com extração parcial de óleo, ficando abaixo dos 12% de Salim *et*

al. (2010), mas bem acima dos 2,33% de Schone *et al.* (2017). A Fibra Bruta (FB), com 10,07%, o resultado é superior aos teores de 7% a 8,8% visto na literatura.

Na Tabela 8 são disponibilizados os coeficientes de metabolização da MS, PB, EE, ENN e da EB, além dos valores de EMA e EMAn dos ingredientes DDG-HP e DDGS.

Tabela 8 - Coeficientes de metabolização da MS, PB, EE, ENN, da EB e os valores determinados de EMA e EMAn dos DDG-HP e DDGS

Variável	Alimentos	
	DDG-HP	DDGS
CMA – MS	83,68 ±2,58	76,22 ±4,27
CMA - N	78,40±17,65	73,9± 2,91
CMA – PB	66,92± 0,52	51,44±10,56
PD	32,05±0,17	18,78±1,26
CMA – EE	47,32±21,80	34,71±21,73
EEd	3,88±0,72	2,36±0,60
CMA – ENN	85,36±6,20	65,80±5,87
ENNd	27,06±1,34	26,98±1,84
CMA – EB	82,40± 14,52	71,23±8,57
EMA	3392±71,81	3241±63,76
EMAn	3329±44,48	2507±38,45

Os valores dos coeficientes de metabolização dos nutrientes e conseqüente nutrientes digestíveis são utilizados para comparar a qualidade do aproveitamento destes nos animais, ajustar a formulação de ração para atender melhor às necessidades nutricionais e melhorar sua eficiência alimentar e a produtividade (Nunes *et al.*, 2008).

Os resultados indicam que tanto o HP-DDG e o DDGS são ingredientes com boa digestibilidade e bom valor nutricional. Esses coeficientes demonstram que ao formular dietas para frangos de corte, o uso do HP-DDG ou DDGS pode resultar em um melhor aproveitamento dos nutrientes, levando a um desempenho animal otimizado. No entanto, os coeficientes de

metabolização dos nutrientes e da energia do DDG-HP é um pouco mais elevado do que o DDGS, já que este último, apresenta um pouco mais de FB (9,50% para DDG-HP e 10,07% para o DDGS).

Os valores encontrados pelo nosso trabalho estão de acordo com os encontrados em estudos de Schone *et al.* (2017); Salim *et al.* (2010); Spiëhs *et al.* (2002); Rostangno *et al.* (2024) e Corassa *et al.* (2021), quando analisaram os nutrientes e energia desses alimentos.

É válido salientar que a depender da forma de processamento, a composição bromatológica pode variar, inclusive impactando na digestibilidade destes alimentos.

Ao comparar os coeficientes de metabolizabilidade aparente (CMA) com a literatura, pode ser observado um perfil distinto para o DDGS o CMAEB (71,23%) que superou o valor de 50,80% reportado por Santos *et al.* (2019), para DDGS convencional, assim como, o CMAMS (76,22%) e o CMAPB (51,44%), excedendo alguns autores.

Ao comparar os valores determinados de EMAn no presente trabalho com a literatura, observa-se que para o DDG-HP e o DDGS houveram valores de concordância, assim como de variabilidade.

Dias *et al.* (2023) trabalhando com DDG-HP obteve como EMAn (base na MS) o valor de 3334 kcal/kg semelhante ao presente trabalho (3329 kcal/kg), entretanto foi superior ao relatado por Oliveira (2019), que encontrou um valor de 2546 kcal/kg, mais próximo ao valor de 3276 kcal/kg, reportado por Fries-Craft e Bobeck (2019). De acordo com Spiëhs *et al.* (2002), essa variação está diretamente relacionada a fatores como: a seleção dos grãos, tipo de fermentação, temperatura e duração de secagem, que podem influenciar as propriedades nutricionais e físicas. Outras variáveis se completam na industrialização e o cultivo, sendo que a produtividade do milho, cultivar, seleção de grãos, tipo de processamento, temperatura, tempo de secagem e formas de armazenamento promovem alterações no produto final (Buosi; Dian, 2014; Liu, 2011; Penz Junior; Gianfelice, 2008).

Schone *et al.* (2017) ao trabalharem com frangos de corte da linhagem Cobb alimentados com DDGS encontraram valor de EMAn de 2282 kcal/kg em base na MS, que foi inferior ao determinado neste presente estudo (2507 kcal/kg). O valor encontrado no estudo de Fries *et al.* (2018) obteve como resultado uma EMAn para o DDGS de 2710 kcal/kg, sendo superior ao presente experimento.

Rochell (2018) fez uma revisão sobre o uso do DDGS na alimentação de frangos de corte, trazendo valores de EMAn calculados por outros trabalhos como Rochell *et al.* (2011) (2764 kcal/kg); Meloche *et al.* (2013) (2309 kcal/kg); Meloche *et al.* (2014) (2676 kcal/kg) e Adeola e Zhai (2015) (2688 kcal/kg), estando todos os valores próximos do encontrado no presente trabalho.

4.1.2 SSIE de 8 e 12% de EE

Ambas as SSIE de 8 e 12% de EE avaliadas no presente experimento, apresentaram indicadores de qualidade do processamento térmico dentro das faixas ideais, ao analisar a atividade ureática de 0,13 e 0,15 e solubilidade proteica em KOH 87,37% e 86,86%, respectivamente, confirmando que o tratamento térmico foi adequado. Para a atividade ureática os valores ideais são segundo a ANFAR (1985) entre 0,05 e 0,30. Já para a solubilidade, valores acima de 70% são ideais, segundo (Araba & Dale 1990).

Na Tabela 9 estão demonstrados diferentes tipos de SSIE em relação a concentração de EE e demais níveis nutricionais do presente experimento e os da literatura.

Tabela 9 - Análise da composição química dos nutrientes e da energia da SSIE em torno de 8% e 12% do presente experimento e os da literatura.

Composição (%)	Ingredientes						
	SSIE 8% ¹	SSIE 12% ¹	SSIE 12,2% ²	SSIE 13,8% ²	SSIE 17,72% ²	SSIE 18,87% ²	SSIE 10,5% ³
MS (%)	89,44	90,31	93,31	93,48	93,64	92,97	91,40
PB (%)	44,82	33,02	44,65	43,47	41,01	40,88	43,98
EE (%)	8,42	12,47	12,20	13,80	17,72	18,8	11,49
FB (%)	6,43	5,66	-	-	-	-	7,25
MM (%)	5,74	4,98	5,74	5,75	5,46	5,41	5,96
ENN (%)	34,59	43,87	-	-	-	-	-
EB (Kcal/Kg)	4458	4712	5211	5312	5504	5573	4875,27

¹UFRPE (2026); ²Meireles (2016).³Rostagno *et al.* (2024).

A SSIE com 8,42% de EE destacou-se por uma concentração proteica (44,82% PB) semelhante à reportada por Meireles (2016) e Rostagno *et al.* (2024), como mostrado na Tabela 8. Porém, a soja semi-integral extrusada com 12,47% de EE apresentou um teor de proteína (33,02%) inferior aos demais valores obtidos na literatura, que são superiores a 40%, mesmo com acréscimo no teor de gordura. Os menores teores de energia bruta observados em relação à literatura são justificados pelos níveis mais baixos de extrato etéreo e matéria seca nas amostras testadas.

Os teores de FB dos dois tipos de SSIE foram próximos de 6,43% (SSIE 8,12% de EE) a 5,66% (SSIE 12,47% EE) e pouco inferior ao valor de 7,25% de FB apresentado por Rostagno *et al.* (2024). Poderemos concluir que fibra mais baixa é geralmente positiva para frangos de corte, pois indica um menor teor de casca e, teoricamente, facilitaria a metabolização da energia.

Tabela 10 - Coeficientes de metabolização da da MS, PB, EE, ENN e da EB, e os valores de EMA e EMAn das SSEI 8% e SSEI 12%

Variável	Alimentos	
	Soja semi-integral 8%	Soja semi-integral 12%
CMA – MS	86,07±2,39	88,99±1,44
CMA - N	59,92±8,04	65,94±2,60
CMA – PB	85,29±2,42	90,95±2,59

PD	38,23±1,09	30,03±0,86
CMA – EE	74,33±6,87	39,35±15,84
EEd	6,26±0,58	1,98±9,10
CMA – ENN	81,22±5,15	86,25±6,11
ENNd	28,09±1,78	37,21±2,63
CMA – EB	74,78±8,77	78,01±3,50
EMA	3410±41,03	3437±46,36
EMAn	2746±37,65	2998 ±64,86

Os valores dos CMA – PB obtidos para a SSIE foram elevados (85,29% para a de 8% EE e 90,95% para a de 12% EE), confirmando a alta qualidade proteica resultante do adequado processamento térmico. O mesmo comportamento foi observado para o aproveitamento do nitrogênio, refletido no CMA-N, foi de 59,92% e 65,94% para as sojas de 8% e 12% EE, respectivamente, indicando uma boa retenção deste elemento.

Os valores de proteína digestível encontrados (38,23% e 30,03% soja 8% e 12% respectivamente) mantêm-se proporcionais aos observados por Carvalho *et al.* (2008). Os CMA – EB, foram de 74,78% e 78,01% para soja 8% e 12% respectivamente, mostrando boa utilização da EB dos alimentos.

Quanto aos valores de EMA e EMAn da SSIE em diversos artigos científicos variam de acordo com o teor de EE, estudos com SSIE com 9,73% de EE (Scottá, 2011), em que apresentou uma EMAn de 2743,55 kcal/kg. Já na pesquisa de Lima (2016), a soja com 12% de EE obteve uma EMAn de 3424,99 kcal/kg. Meireles (2016) reportou valores ainda mais altos, com 12,20% de EE, resultando em uma EMAn de 3301 kcal/kg.

Dessa maneira, poderemos complementar que as análises dos Coeficientes de Metabolização (CM) demonstram um elevado aproveitamento da energia e proteína oferecidas. O aproveitamento de Energia (CMAEB), com valores de 74,78% (soja 8% EE) e 78,01% (soja 12% EE), indica que aproximadamente 22% a 25% da energia bruta foi perdida nas excretas.

Esse nível de aproveitamento é considerado expressivo para ingredientes de origem vegetal com teores moderados de fibra.

Os valores de EMAn obtidos no presente experimento de 2746 kcal/kg (SSIE – 8%) e de 2998 kcal/kg (SSIE – 12%) foram inferiores aos reportados por Lima (2016) para a soja semi-integral (3425 kcal/kg), porém semelhante ao de Rostagno *et al.* (2024), que foi de 2811 kcal/kg. Tal discrepância reforça o argumento de que a variabilidade energética observada entre diferentes pesquisas é amplamente explicada pela falta de padronização nos processos de extrusão e prensagem, conforme corroborado pelos achados de Nunes *et al.* (2015), Costa *et al.* (2013) e Borges *et al.* (2003).

A análise qualitativa do processamento reforça os dados energéticos cujos melhores valores foram alcançados nas temperaturas que produziram atividade de urease e solubilidade proteica dentro dos padrões de qualidade. Por outro lado, temperaturas abaixo de 105,58°C resultaram em indicadores de subprocessamento e nos menores valores de EMA e EMAn. Isso confirma que o processamento inadequado, seja por excesso de calor (que desencadeia a reação de Maillard) ou por temperatura insuficiente (que preserva fatores antinutricionais), compromete diretamente o valor energético final do produto.

Já Meireles (2016) quando trabalhou com frangos de corte alimentados com soja semi-integral obteve valores de EMAn (3116 kcal/Kg), superior aos encontrados no determinado no presente trabalho para ambas as sojas tanto de 8% quanto de 12% EE, muito embora tenha trabalhado com sojas semi-integrais com altos valores de extrato etéreo (>12%).

Esses erros podem levar os profissionais a uma reflexão do que estão realmente ofertando aos animais através das rações, tendo ingredientes com EMAn subestimada ou superestimada, obtendo uma ração que proporciona pouco crescimento, produção e prejuízos financeiros, ou até mesmo a doenças. É salutar que a forma de obtenção desses alimentos seja

padronizada para evitar erros e discrepâncias, além de uma urgente atualização/criação de novas equações que possam representar mais segurança para nutricionista e zootecnistas.

4.1.3 Farelo de Algodão 28 e 38% de PB

Os farelos de algodão 28 e 38% PB analisados em base na MS no presente experimento apresentaram os respectivos valores de PB (30,43% e 46,02%), EE (1,64% e 2,55%) FB (24,36% e 14,63) e MM (4,82% e 6,12%) estão semelhantes aos farelos mostrado na Tabela 10.

Tabela 11 - Análise da Composição Química em base na MS de diferentes tipos de Farelo do algodão de acordo com a literatura

Composição (%)	Ingredientes					
	Farelo de Algodão 28% ¹	Farelo de Algodão 38% ¹	Farelo Algodão ²	Farelo Algodão ³	Farelo Algodão ⁴	Farelo Algodão ⁴
MS (%)	89,82	91,66	88,99	95,91	90,60	90,00
MM (%)	4,82	6,12	4,89	4,80	5,50	6,78
PB (%)	30,43	46,02	31,79	28,15	31,24	42,33
EE (%)	1,64	2,55	1,29	10,22	1,41	2,94
FB (%)	24,36	14,63	25,10	30,28	26,16	17,11
ENN (%)	38,75	30,73	-	-	-	-
EB (Kcal/Kg)	4059	4198	4527,47	5074,55	4605,96	4726,67

¹UFRPE (2026); ²Generoso *et al.* (2008); ³Carvalho (2010); ⁴Rostagno *et al.* (2024);

Os valores encontrados de gossipol nas amostras dos farelos de algodão estudados no presente experimento foram o farelo de algodão 28%, que foi de 130,58±14,89 mg/kg e para o algodão 38% de 91,87±4,11 mg/kg. Esses valores estão dentro da faixa de manutenção da homeostase das aves que é de 200 ppm (Barbosa *et al.*, 2004).

De acordo a Tabela 11, é observada uma variação entre os trabalhos citados da literatura para os dois tipos de farelo de algodão, tanto os que têm menos PB (em média 28%), quanto os que apresentam PB intermediária de 38% após o processamento. Essa variação na composição

de PB dos farelos de algodão com 28% entre os autores é de 28,15% a 31,79%, assim como a variação dos demais nutrientes, como EE de 1,29% a 10,22%, FB de 24,36% a 30,28% e MM de 4,80% a 5,50%, onde os resultados obtidos no presente trabalho estão inseridos nessa amplitude. Enquanto para o farelo de algodão 38%, os resultados são semelhantes com os do Rostagno *et al.* (2024), observa-se que são semelhantes (PB 46,02% X 42,33%; EE 2,55% X 2,94%; FB 14,63% X 17,11%, e MM 6,12% x 6,78%), levando em consideração que o teor de MS do farelo de algodão 38% do presente experimento de 91,66%, é superior ao do Rostagno *et al.* (2024) de 90,0%.

A análise do extrato etéreo (EE) demonstra que os resultados do experimento (2,94% e 1,64%) são característicos de farelos de algodão desengordurados, similares aos encontrados por Rostagno *et al.* (2011) e Generoso *et al.* (2008). Em contraste, os elevados teores de EE reportados por Carvalho *et al.* (2010) com 10,22% e Miranda (2015) com 8,87% sugerem fortemente que estes autores trabalharam com farelo de algodão, submetido à extração de gordura de forma mecânica e não por solvente proporcionando alto teor residual de óleo, o que impacta diretamente no valor de EB e na composição dos ácidos graxos. Os resultados de EB no estudo foram valores de 4198 kcal/kg para o farelo de algodão 38% e de 4059 kcal/kg para o farelo de 28%, um pouco inferiores com os do Rostagno *et al.* (2024) (4726 kcal/kg para o farelo de algodão 38% e 4606 kcal/kg para o farelo de algodão 28%).

O teor de fibra bruta (FB) corrobora a hipótese de variações no processamento industrial, devido a maior ou menor quantidade da presença de casca. O farelo com 28% PB avaliado apresentou 24,36% de FB, valor condizente com a faixa observada em farelos convencionais de 21,74% a 24,93% de FB, de acordo com Dilelis *et al.* (2019) e Rostagno *et al.* (2011), respectivamente. Em contraste, Carvalho *et al.* (2010) ao avaliarem um farelo com teor proteico semelhante (28,15%) reportaram um valor superior de FB (30,28%). Por outro lado, o farelo com 38% PB do presente estudo apresentou reduzido teor de FB (14,63%), assemelhando-se ao

valor de 14% de FB obtido por Holanda *et al.* (2010). Tal redução na fração fibrosa evidencia um processamento diferenciado por descascamento (decorticação), resultando em menor depreciação do valor energético deste ingrediente para aves.

A premissa da composição nutricional e da energia tem sua importância para uma formulação de ração, no entanto, a digestibilidade e a biodisponibilidade determinam o que realmente é aproveitado pelo animal para produção (carne, leite ou ovos) e manutenção, obtendo uma formulação de ração de maior precisão. Na Tabela 12 são demonstrados os resultados de coeficientes de metabolização dos nutrientes e da energia dos dois tipos de farelo de algodão, resultantes do presente experimento, obtendo os valores digestíveis e a energia metabolizável, que é a forma pela qual devemos formular uma ração para os animais não-ruminantes, permitindo menor excreção de nutrientes como o nitrogênio, reduzindo assim, o impacto prejudicial ao ambiente.

Tabela 12 - Coeficientes de metabolização da MS, PB, EE, ENN, da EB, EMA, EMAn dos FA 28% e FA 38%

Variável	Alimento	
	Farelo de Algodão 28%	Farelo de Algodão 38%
CMA – MS	77,71±1,78	83,16±2,67
CMA - N	51,35±1,27	65,72±3,80
CMA – PB	43,48±0,08	54,90±4,77
PD	13,23±0,02	25,27±2,19
CMA – EE	64,15±4,66	48,36±14,37
EE _d	1,05±0,08	1,23±0,37
CMA – ENN	32,52±3,92	37,16±1,51
ENN _d	12,60±7,32	11,42±0,47
CMA – EB	67,52±2,84	77,34±8,41
EMA	1933±50,91	2656±44,91
EMAn	1397±81,55	1849±76,00

Para o farelo de algodão 28% e 38% de PB, os coeficientes de metabolizabilidade da matéria seca (77,71% e 83,16%, respectivamente) e da energia bruta (67,52% e 77,34%, respectivamente) foram consideravelmente superiores aos valores reportados por Carvalho *et al.* (2010) (CMA-MS: 27,45%; CMA-EB: 25,46%).

Os frangos de corte são animais que estão em desenvolvimento e crescimento muscular, sendo necessário que a nutrição acompanhe o desenvolvimento alométrico da ave, principalmente nessa fase, pois existe maior limitação na quantidade de fibra contida nesta ração, nutriente esse, que pode ser utilizado como prebiótico, porém, em concentrações pequenas. Diante disso, verificou-se no presente experimento que este ingrediente apresenta coeficientes de metabolização dos nutrientes e da energia mais reduzidos que os demais alimentos estudados. Segundo Albino *et al.* (1982) afirmam que os baixos valores observados para o coeficiente de metabolização da energia bruta podem ser atribuídos à interação entre a limitada capacidade digestiva e de absorção dos frangos de corte jovens, com uma idade média de 21 dias e os elevados teores de fibra bruta encontrados nos ingredientes, especificamente no farelo de algodão.

Segundo Nagalakshmi *et al.* (2007), os valores de energia metabolizável para o farelo de algodão variam de 1901 a 2811 kcal/kg, sendo que, geralmente, o subproduto produzido mecanicamente apresenta menor valor energético, que o obtido por solvente. Essa diferença pode ser atribuída à maior quantidade de fibra presente no farelo processado mecanicamente, frequentemente associada a diferenças no teor de casca, fibra e compostos antinutricionais como o gossipol entre diferentes lotes e processamentos.

Muitos alimentos com níveis elevados destes carboidratos estruturais têm sua digestibilidade prejudicada, por a fração fibrosa formar um gel que funciona como uma barreira à ação das enzimas hidrolíticas, o que causaria uma indisponibilidade dos nutrientes e reduziria a digestibilidade da dieta (Bastos *et al.*, 2007; Bett, 1992; Melo *et al.*, 2010; Nagalakshmi *et al.*,

2007). Sabe-se que este gel é proveniente da pectina contida na parede celular dos vegetais. Por outro lado, a celulose e hemicelulose são também constituintes da fração fibrosa do alimento, pois quando ingeridas pelos animais em concentrações acima da sua limitação, pode aumentar a taxa de passagem deste alimento no decorrer do trato gastrointestinal pela ausência de enzimas que possam digerir estes polissacarídeos.

Segundo Torres (1979), quando ocorre a inclusão total da casca ao farelo, o teor de FB é aumentado sensivelmente, reduzindo a capacidade de metabolização pelas aves. Sendo assim, o farelo de algodão 28% de PB apresenta alto teor de FB de 24,36%, enquanto o de 38% de PB apresenta menor valor de 14,63%, impactando no valor de EMAn, pois *in vivo*, o teor de fibra impacta diretamente na digestibilidade de outras variáveis, diminuindo mais ainda o valor da EMAn, hipótese sustentada pelos nossos dados, que, no experimento biológico, achou valores bem abaixo dos calculados.

Além da FB em mais elevadas concentrações no alimento trazer problemas digestivos, ainda tem a presença de fatores antinutricionais, o gossipol no farelo de algodão que inibe enzimas digestivas, por complexar com proteínas, ou reduzir a biodisponibilidade, principalmente do aminoácido lisina, que é um componente crucial na construção e reparo muscular.

Diante disso, faz-se necessário analisar a composição nutricional e energética dos alimentos e a realização de experimentos de digestibilidade *in vivo* de acordo com a espécie animal, pois fatores como tipo de alimento, origem, processamento e fatores antinutricionais limita a biodisponibilidade dos nutrientes e conseqüentemente, o aproveitamento energético e protéico deste alimento e da ração.

4.2 EFEITO COMPARATIVO DOS VALORES DE EMAn DETERMINADOS NO PRESENTE TRABALHO COM OS VALORES ESTIMADOS DE ACORDO COM AS

EQUAÇÕES DE PREDIÇÃO DO NRC (1994) E DO Rostango *et al.* (2024)

A energia é reconhecida como o principal componente de custo na alimentação de frangos de corte. Nos últimos anos, a variabilidade do custo energético dos ingredientes, impulsionada pela demanda por biocombustíveis e sua correlação com *commodities* não agrícolas (conforme apontado por Yu *et al.*, 2006 e Harri *et al.*, 2009), tem tornado crucial o aprimoramento das técnicas de formulação de rações.

Tradicionalmente, a formulação para aves é baseada na energia metabolizável aparente (EMA) ou na EMA corrigida para retenção de nitrogênio (EMAn). No entanto, Cozannet *et al.* (2010) propuseram que a correção para 50% de retenção de nitrogênio (EMAs) seria mais representativa da situação metabólica real das aves, que retêm nitrogênio durante o crescimento. Essa visão é corroborada por Barzegar *et al.* (2019) e Aye-Cho Tay-Zar *et al.* (2023), que reiteram a inadequação parcial dos sistemas baseados apenas na EM.

Paralelamente ao desenvolvimento de sistemas energéticos mais refinados, a indústria busca ferramentas rápidas e econômicas para a avaliação de alimentos. As equações de predição que utilizam análises químicas simples da composição das dietas surgem como uma alternativa valiosa aos dispendiosos e demorados ensaios *in vivo* (Alvarenga *et al.*, 2013a; Mateos *et al.*, 2019).

No entanto, a literatura destaca uma lacuna com muitos estudos que propõem equações, mas poucos as validam adequadamente com conjuntos de dados independentes (Alvarenga *et al.*, 2013a; Wu *et al.*, 2019). Meloche (2013) e Meloche *et al.* (2014), os quais enfatizam que a validação é a etapa final mais importante para garantir a aplicação prática e a confiabilidade de uma equação, alertando sobre riscos de imprecisão. Nosso trabalho se propõe a validar essas equações, demonstrando estatisticamente, se podem ser utilizadas quando comparadas com o experimento *in vivo*.

Dessa forma, os valores determinados *in vivo* e estimados, utilizando as equações de Rostagno *et al.* (2024) e NRC (1994) de EMAn dos ingredientes estudados são vistos na Tabela 13.

Tabela 13 - Valores em base na MS de EMAn determinados no presente estudo e os estimados a partir de equações de predição.

Ingredientes	EMAn (kcal/kg)		
	Determinados	Rostagno <i>et al.</i> (2024)	NRC (1994)
DDG-HP	3329±44,48a	2862± 4,24b	2425 ± 36,00b
DDGS	2507±38,45a	2146±33,23b	2230 ± 8,00ab
SSIE 8%EE	2746±37,65b	3032±22,67a	2912 ± 3,00b
SSIE 12%EE	2998 ±64,86b	3550±37,57a	3209 ± 47,00ab
Farelo de Algodão 28%	1397±81,55b	1302±32,57b	2490 ± 1,00a
Farelo de Algodão 38%	1849±76,00b	1611±87,04b	2741 ± 0,95a

Podemos observar na tabela acima, que o valor de EMAn do DDG-HP determinado no presente experimento foi superior aos estimados pelas equações, no entanto para o DDGS (2507 kcal/kg) o valor foi semelhante somente ao estimado pela equação de acordo com o NRC (1994), em que considera a composição nutricional do ingrediente, já que não diferiu significativamente. Também não diferiram os valores determinados do estimado pela equação do NRC (1994) os valores obtidos com a SSIE de 8% e 12% de EE. Já para os farelos de algodão de 28 e 38% de PB, o EMAn determinado não diferiu do valor estimado pela equação do Rostagno *et al.* (2024). É provável que essa equação apresente melhor estimativa para ingredientes com mais elevado teor de EE e FB e, principalmente este último nutriente, devido considerar os valores dos nutrientes digestíveis e não apenas a composição nutricional.

A análise dos valores de energia metabolizável corrigida pelo nitrogênio (EMAn) para diferentes ingredientes, quando confrontados com suas composições químicas e com as estimativas geradas pelas equações de predição de Rostagno *et al.* (2024) e do NRC (1994), revela padrões distintos que evidenciam como os teores de proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE) e fibra bruta (FB) interagem para determinar a fração de energia efetivamente utilizada pelas aves.

Os coprodutos de destilaria, o DDG-HP têm elevado teor proteico (43,73% PB) e teor de fibra moderado (7,7% FB), apresentou um valor de EMAn experimental de 3329 kcal/kg, contrastando fortemente com as estimativas. Na estimativa do EMAn utilizando a equação de Rostagno *et al.* (2024), que considera frações digestíveis, estimou 2862 kcal/kg, enquanto utilizando as equações do NRC (1994) foi estimado apenas 2425 kcal/kg. Esta subestimativa, provavelmente decorre do fato do modelo preconizado por esta equação, que penaliza excessivamente o valor energético proveniente da composição da PB, em função do alto teor proteico que esse possui ingrediente, de acordo com a equação $EMAn = (39,15 \times MS) - (39,15 \times MM) - (9,72 \times PB) - (63,81 \times EE)$, no qual quanto mais reduzida a composição de PB menor será a subestimativa. Isto ocorre também com o teor de EE, quanto mais elevado, menor será o valor estimado. Além disso, a equação não leva em consideração a concentração de FB do alimento, observando assim, que não seria uma equação ideal para estimar o valor de EMAn do DDG-HP atualmente.

Porém, para o DDGS, com nível menor de PB (32,26%) a EMAn estimada (2230 kcal/kg) pelo NRC (1994) ficou próxima ao valor determinado (2507 kcal/kg). No entanto, estatisticamente diferente e superior ao estimado pela equação do Rostagno *et al.* (2024) com um valor de 2146 kcal/kg. A equação do Rostagno *et al.* (2024) leva em consideração a concentração de nutrientes digestíveis, que pode variar pelo teor de FB do alimento, em que a concentração no presente experimento é de 10,07% de FB. Segundo o estudo de Rochelle *et*

al. (2011) a concentração de EMAn do DDGS variou de 1869 a 2824 kcal/kg (em base na MS) e foi positivamente correlacionada com a EB ($r = 0,69$) e negativamente correlacionada com o conteúdo de FB ($r = -0,56$), mas não correlacionada com o EE, PB, amido e MM. Os autores afirmaram que o teor de FB do DDGS é mais fortemente correlacionado com os valores de EMAn do que o conteúdo de gordura.

Para as SSIE 8% e 12% de EE, a equação do NRC (1994) mostrou-se mais acurada, enquanto a de Rostagno *et al.* (2024) ao utilizar os valores de nutrientes digestíveis da proteína, EE e ENN o valor estimado foi superior ao determinado, indicando a necessidade de uma metanálise (compêndio de resultados na literatura) para obter equações de predição, levando em consideração a amplitude de valores de EMAn para ingredientes processados termicamente e com alto teor lipídico.

No caso da soja semi-integral extrusada (SSIE), o fator determinante para os valores de EMAn foi o teor de extrato etéreo, no qual foi confirmado por Foltyn *et al.* (2013), em que encontraram uma correlação positiva entre EE e energia metabolizável. A SSIE com 8% de EE apresentou EMAn experimental de 2746 kcal/kg, enquanto o aumento do EE para 12% elevou a EMAn para 2998 kcal/kg, um acréscimo de 252 kcal/kg diretamente atribuível ao maior teor lipídico. Este comportamento era esperado, uma vez que os lipídios fornecem aproximadamente 2,25 vezes mais energia que os carboidratos, conforme discutido por Ravindran e Abdollahi (2021).

Para os farelos de algodão, o padrão observado foi completamente distinto, ou seja, o valor determinado no presente experimento foi semelhante ao valor estimado, utilizando a equação de Rostagno *et al.* (2024), sendo o efeito da fibra bruta sobre os valores de nutrientes digestíveis foi o componente determinante na discrepância entre os valores experimentais e as estimativas. Entretanto, a equação do NRC (1994), mesmo que a equação $[EMAn = (21,26 \times MS) + (47,13 \times EE) - (30,85 \times FB)]$ considere o teor de FB do alimento, porém não considera o efeito

desta elevada concentração do alimento sobre a digestibilidade dos demais nutrientes como a proteína e a gordura. Isso é comprovado com o resultado em que o farelo de algodão 28% PB com elevado teor de FB (22,42%), apresentou EMAn experimental de 1397 kcal/kg, valor numericamente próximo ao estimado por Rostagno *et al.* (2024), mas estatisticamente diferente da estimativa do NRC (1994).

Isto sugere que a melhora no valor energético está mais associada à redução da fração fibrosa do que propriamente ao aumento do teor proteico, uma vez que a proteína do farelo de algodão é conhecidamente de menor digestibilidade, devido à presença de gossipol e à estrutura compacta da matriz fibrosa, conforme mencionado por Nagalakshmi *et al.* (2007) e Jha e Mishra (2021).

Estes resultados reforçam a importância de se considerar as interações entre os componentes nutricionais na determinação da energia metabolizável. O extrato etéreo atua como o principal fator de incremento energético, mas sua contribuição efetiva pode ser modulada pela matriz fibrosa e pelo processamento do ingrediente. A fibra bruta, por sua vez, funciona como modulador negativo da EMAn e seu impacto é mais pronunciado em ingredientes como o farelo de algodão, onde os teores são elevados. A proteína bruta exerce efeito indireto e sua contribuição energética real depende da digestibilidade e da associação com outros componentes.

A idade das aves utilizadas nos ensaios de metabolismo também merece consideração, conforme demonstrado por Batal e Parsons (2002) e Dilelis *et al.* (2019), observaram que aves mais velhas (35-45 dias) apresentam maior capacidade de extrair energia de ingredientes fibrosos, devido ao amadurecimento do sistema digestivo e ao aumento da atividade enzimática.

Este fator pode explicar parte das diferenças entre os valores experimentais obtidos e aqueles reportados em tabelas mais antigas, que muitas vezes foram geradas com aves de diferentes idades ou linhagens.

Em síntese, a acurácia das equações de predição varia conforme o ingrediente e sua composição. Para ingredientes com alto teor de fibra, como o farelo de algodão, equações que incorporam frações digestíveis, como a de Rostagno *et al.* (2024), podem ser de melhor estimativa, utilizando os dados de nutrientes digestíveis do presente trabalho.

Para ingredientes com alto teor lipídico e submetidos a processamento térmico, como a soja semi-integral extrusada, as equações mais antigas, como a do NRC (1994), podem surpreendentemente oferecer estimativas mais próximas da realidade, indicando que a complexidade da matriz alimentar e as interações entre nutrientes nem sempre são captadas adequadamente pelos modelos mais recentes.

5 CONCLUSÃO

Os valores de EMAn determinados *in vivo* dos alimentos avaliados DDG-HP (3329 kcal/kg), DDGS (2507 kcal/kg), sojas semi-integral extrusada 8 e 12% de EE (2746 kcal/kg e 2998 kcal/kg, respectivamente) e do farelo de algodão 28% e 38% PB (1397 kcal/kg e 1849 kcal/kg, respectivamente) ao serem comparados com os valores estimados, existe uma variação na escolha da equação, conforme o ingrediente, a composição e ao valor dos nutrientes digestíveis, reforçando a importância de um experimento *in vivo* ou de uma metanálise para obtenção final da EMAn de um alimento antes de formular uma ração para frangos de corte.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório anual 2025**. São Paulo: ABPA, 2025. 164 p.

ABRAPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO. **Brasil projeta alta histórica na produção de algodão**. Brasília, DF: Abrapa, 2024.

ADEOLA, O.; ZHAI, H. Metabolizable energy value of dried corn distillers grains and corn distillers grains with solubles for 6-week-old broiler chickens. **Poultry Science**, v. 91, n. 3, p. 712-718, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01532>. Acesso em: 27 junho

2025.

- ALBINO, L. F. T.; ROSTAGNO, H. S.; SILVA, M. A. Determinação dos valores de energia metabolizável e matéria seca aparentemente metabolizável de alguns alimentos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 11, n. 2, p. 207-221, 1982.
- ALBINO, L.F.T., FIALHO, E.T., BRUM, P.A.R. et al. 1992b. Determinação dos valores energéticos de alguns alimentos para aves. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 29, 1992, Lavras. *Anais...* Lavras: SBZ, 1992. p.330.
- ALVARENGA, R. R. **Avaliação de equações de predição dos valores energéticos do milho e do farelo de soja na formulação de rações para frangos de corte**. 2012. 92 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.
- ALVARENGA, R. R.; RODRIGUES, P. B.; ZANGERONIMO, M. G.; CANTARELLI, V. C.; FASSANI, E. J.; SILVA, J. W.; LIMA, L. R. C. Validation of prediction equations to estimate the energy values of feedstuffs for broilers: performance and carcass yield. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, Seoul, v. 26, n. 10, p. 1474-1483, 2013a.
- ALVARENGA, R. R.; RODRIGUES, P. B.; ZANGERONIMO, M. G.; FASSANI, E. J.; SILVA, L. P.; NASCIMENTO, G. A. J. Formulation of diets for poultry: the importance of prediction equations to estimate the energy values. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 62, n. 240, p. 1-11, 2013b.
- ALVES, J. O.; ZHUO, C.; LEVENDIS, Y. A.; TENÓRIO, J. A. S. Síntese de nanomateriais de carbono a partir do resíduo de milho (DDGS). **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 8, p. 1534-1537, 2012.
- AMORIM, A. B.; POZZA, P. C.; NUNES, R. V.; SCHERER, C.; SCOTTÁ, B. A. Resíduo seco de destilaria com solúveis (DDGS) na alimentação de monogástricos. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 10, n. 2, p. 19-33, 2011.
- ANDRETTA, I.; REMUS, A.; GARCIA-LAUNAY, F.; HAUSCHILD, L.; KIPPER, M. Editorial: Strategies for mitigating the environmental impacts of pig and poultry production. **Frontiers in Veterinary Science**, [S. l.], v. 9, p. 1-3, maio 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.892340>. Acesso em: 28 jan. 2025.
- ANFAR - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE ALIMENTOS PARA ANIMAIS. **Compêndio brasileiro de alimentação animal: métodos analíticos**. São Paulo: ANFAR, 2013.
- ANFAR (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE RAÇÕES). **Matérias-primas para alimentação animal**. 4. ed. São Paulo: ANFAR, 1985. 65 p.
- AOAC INTERNATIONAL. **Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL**. 21. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2019.
- ARABA, M.; DALE, N. M. Evaluation of protein solubility as an indicator of overprocessing soybean meal. **Poultry Science**, v. 69, n. 1, p. 76-83, 1990. Disponível em: <https://doi.org/10.3382/ps.0690076>. Acesso em: 1 fev. 2025.
- ARAÚJO, A. E.; SANTOS, J. W.; SILVA, O. R. R. F.; BEZERRA, J. R. C. **Cultura do algodão herbáceo na agricultura familiar**. Brasília, DF: Embrapa, 2003.
- BABCOCK, B. A.; HAYS, D. J.; LAWRENCE, J. D. **Using distillers grains in the U.S. and international livestock and poultry industry**. 1. ed. Ames: MATRIC, 2008.

- BATAL, A. B.; PARSONS, C. M. Effects of age on nutrient digestibility in chicks fed different diets. **Poultry Science**, v. 81, n. 3, p. 400-407, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/ps/81.3.400>. Acesso em: 27 maio 2026.
- BARBOSA, F. F.; GATTÁS, G. Farelo de algodão na alimentação de suínos e aves. **Revista Eletrônica Nutritime**, Viçosa, v. 1, n. 3, p. 147-156, nov./dez. 2004.
- BARZEGAR, S.; WU, S. B.; CHOCT, M.; SWICK, R. A. **Factors affecting energy metabolism and evaluating net energy of poultry feed**. *Poultry Science*, v. 98, n. 12, p. 7037-7052, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3382/ps/pez556>. Acesso em: 27 fev. 2026.
- BASTOS, S. C.; COSTA, F. G. P.; RODRIGUES, V. P.; SILVA, J. H. V.; SOUZA, C. J. A.; LIMA NETO, R. C. Efeito da inclusão do farelo de coco em rações para frangos de corte. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 38, n. 3, p. 297-303, 2007.
- BETT, C. M. **Utilização do farelo e da semente de girassol na alimentação de frangos de corte**. 1999. 39 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 1999.
- BLANCO, B. S. Gossipol e fatores antinutricionais da soja. *In*: SPINOSA, H. S.; GÓRNIK, S. L.; NETO, J. P. (ed.). **Toxicologia aplicada à medicina veterinária**. Barueri: Manole, 2008. p. 531-545.
- BORGES, F. M. O.; SALVADOR, D.; IVANOVSKI, R. A. Utilização da soja desativada na dieta de monogástricos. *In*: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE AVES E SUÍNOS, 2003, Cascavel. **Anais [...]**. Cascavel: [s. n.], 2003. p. 21-59.
- BRITO, M. S.; OLIVEIRA, C. F. S.; SILVA, T. R. G. Polissacarídeos não amiláceos na nutrição de monogástricos – revisão. **Acta Veterinaria Brasilica**, Mossoró, v. 2, n. 4, p. 111-117, 2008.
- BRUMANO, G. **Composição química e valores de energia metabolizável e de aminoácidos digestíveis de alimentos proteicos para aves**. 2005. 81 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- BRUMANO, G.; GATTÁS, G. Soja integral extrusada na alimentação de aves e suínos. **Revista Eletrônica Nutritime**, Viçosa, v. 1, n. 3, p. 134-146, nov./dez. 2004.
- BUOSI, J. P.; DIAN, P. H. M. Grãos secos de destilaria com solúveis (DDGS) na alimentação de ruminantes. **Boletim Técnico da Universidade Camilo Castelo Branco**, Descalvado, n. 11, 2014.
- BUTOLO, J. E. **Qualidade de ingredientes na alimentação animal**. 1. ed. Campinas: CBNA, 2002. 430 p.
- CAFÉ, M. B.; SAKOMURA, N. K.; THAYER, D.; COELHO, M. G. Determinação do valor nutricional das sojas integrais processadas para aves. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 2, n. 1, p. 59-68, 2000.
- CARDOSO, E. G. Utilização de subprodutos do algodoeiro na alimentação animal. *In*: **Algodão**: informações técnicas. Dourados: EMBRAPA-CPAO, 1998. p. 255-267. (Circular Técnica, 16).
- CARNEIRO, H. Torta de algodão: coprodutos de biodiesel na alimentação animal. **Panorama do Leite**, v. 3, n. 28, 2009.

- CARVALHO, A. D. **Digestibilidade de dietas e metabolismo em frangos de corte e suínos alimentados com soja integral processada**. 2006. 102 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.
- CARVALHO, F. de M.; FIÚZA, M. A.; LOPES, M. A. Determinação de custos como ação de competitividade: estudo de um caso na avicultura de corte. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 908-913, 2008.
- CARVALHO, C. B.; COSTA, F. G. P.; SILVA, J. H. V.; ALMEIDA, J. G.; RODRIGUES, V. P.; LIMA NETO, R. C. Avaliação nutricional do farelo de algodão de alta energia no desempenho produtivo e características de carcaças de frangos de corte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 5, p. 1166-1172, 2010.
- CARVALHO, S. W. **Efeitos da utilização da soja semi-integral extrusada sobre o desempenho e características das carcaças dos suínos**. 1996. 74 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade de São Paulo, Jaboticabal, 1996.
- CENTRO DE CONHECIMENTO EM BIOENERGIA (UFV). **Biodiesel: mistura de 14% no diesel entra em vigor; saiba os efeitos da medida**. Araçatuba: UDOP, 2024.
- CHEFTEL, J. C. Nutritional effects of extrusion-cooking. **Food Chemistry**, v. 20, p. 263-267, 1986.
- CLARKE, E.; WISEMAN, J. Effects of variability in trypsin inhibitor content of soya bean meals on true and apparent ileal digestibility of amino acids and pancreas size in broiler chicks. **Animal Feed Science and Technology**, [s. l.], v. 121, p. 125-138, 2005.
- COÊLHO, J. D.; XIMENES, L. F. **Soja**. Fortaleza: Banco do Nordeste, 2025. (Caderno Setorial ETENE, v. 10, n. 401).
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2024/2025**. Brasília, DF: CONAB, v. 13, n. 9, jun. 2025. (9. levantamento).
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Produção de cana-de-açúcar é estimada em 676,96 milhões de toneladas na safra 2024/25**. Brasília, DF: CONAB, abr. 2025.
- CONCEIÇÃO, A. A.; SOUZA, L. S.; OLIVEIRA, A. S.; OLIVEIRA, J. S.; BARBOZA, S. B. P. S.; ARAÚJO, E. D. Development of an RP-UHPLC-PDA method for quantification of free gossypol in cottonseed cake and fungal-treated cottonseed cake. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 13, n. 10, e0205260, p. 1-17, 2018.
- CONSTANÇA, H. **Manual de utilização extrusoras com processos a seco**. Circular informativo Greenpeças, 2013.
- CORASSA, A.; SILVA, C. A.; OLIVEIRA, E. R.; DARROZ, M. S.; TON, A. P. S.; PASCOAL, L. A. F.; KIEFER, C. Variabilidade da composição nutricional de coprodutos de etanol de milho do Brasil para suínos. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 13, p. e593101321481, 2021.
- COSTA, E. M. S.; SAKOMURA, N. K.; SIQUEIRA, J. C.; MEDEIROS, A. N.; FERNANDES, J. B. K.; BONATO, M. A. Desempenho de frangos de corte alimentados com dietas contendo grão integral e coprodutos da soja em ambiente com calor cíclico. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 14, n. 4, p. 710-720, 2013.

COSTA, F. G. P.; SILVA, J. H. V.; MARCATO, S. M. L. G.; ALMEIDA, J. G.; SALES, R. C. L. Desempenho de pintos de corte alimentados com rações contendo soja integral extrusada em diferentes temperaturas, durante as fases pré-inicial e inicial. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 7, n. 1, p. 11-16, 2006.

COZANNET, P.; PRIMOT, Y.; GADY, C.; MÉTAYER, J. P.; LESSIRE, M.; SKIBA, F.; NOBLET, J. Energy value of wheat distillers grains with solubles for growing pigs and adult sows. **Journal of Animal Science**, v. 88, n. 7, p. 2382-2392, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2454>. Acesso em: 27 fev. 2025.

DETMANN, E.; SOUZA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C.; QUEIROZ, A. C.; BERCHIELLI, T. T.; SALIBA, E. O. S.; CABRAL, L. S.; PINA, D. S.; LADEIRA, M. M.; AZEVÊDO, J. A. G. **Métodos para análise de alimentos**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012. 214 p.

DIAS, K. M. M.; DOZIER III, W. A.; ROCHELL, S. J.; KERR, B. J. Evaluation of corn ethanol coproducts on broilers diets. **Poultry Science**, Champaign, v. 102, n. 11, 103000, 2023.

DILELIS, F.; VASCONCELOS, M. L. A.; CARVALHO, A. L. V.; PENZ JUNIOR, S. T.; MORAES, V. M. B. Energia metabolizável do farelo de arroz, da farinha de semente de algodão e farelo de trigo para frangos de corte de crescimento lento em duas idades. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 20, p. e-46357, 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Ethanol supply scenarios and Otto cycle demand 2020-2030**: executive summary. Rio de Janeiro: EPE, 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Investimentos e custos operacionais e de manutenção no setor de biocombustíveis: 2020 - 2030**. Rio de Janeiro: EPE, 2019.

ESHTEJARANI, A. A.; MORADI, S.; TABATABAEI, M. M.; KHALAJI, S.; MELOCHE, K. J. Development of prediction equations for apparent metabolizable energy corrected for nitrogen of fish meal and poultry by-product meal in broiler chickens. **The Journal of Applied Poultry Research**, [s. l.], v. 33, n. 4, 100473, 2024.

FOLTYN, M.; RADA, V.; LUKESOVA, D.; MAROUNEK, M. Effect of corn DDGS on broilers performance and meat quality. **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, [s. l.], v. 61, p. 59-64, 2013.

FREIRE, E. C.; SANTOS, J. W.; SILVA, O. R. R. F. Considerations about cotton gene escape in Brazil: a review. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, [s. l.], v. 3, n. 4, p. 315-332, 2003.

FREITAS, E. R. **Avaliação nutricional de alguns alimentos processados para aves por diferentes metodologias e suas aplicações na formulação de rações para frangos de corte**. 2003. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.

FRIES, K.; BOBECK, E. Evaluation of a High Protein DDGS Product on Broiler Performance. **Animal Industry Report**, v. 664, n. 1, p. 56, 2018.

FRIES-CRAFT, K.; BOBECK, E. A. Evaluation of a high-protein DDGS product in broiler chickens: performance, nitrogen-corrected apparent metabolisable energy, and standardised ileal amino acid digestibility. **British Poultry Science**, v. 60, n. 5, p. 647-655, 2019.

- FS BIOENERGIA. **Guia dos produtos**. Lucas do Rio Verde: FS Bioenergia, 2025. Disponível em: <http://www.fsbioenergia.com.br/pt-br>. Acesso em: 28 jul. 2025.
- GADELHA, I. C. N.; FONSECA, N. M. B. S.; OLORIS, S. C. S.; MELO, M. M.; SOTO-BLANCO, B. Gossypol toxicity from cottonseed products. **The Scientific World Journal**, [s. l.], v. 2014, p. 1-11, 2014.
- GADELHA, I. C. N.; FONSECA, N. B. S.; OLORIS, S. C. S.; MELO, M. M.; SOTO-BLANCO, B. Efeitos do gossipol na reprodução animal. **Acta Veterinaria Brasilica**, Mossoró, v. 5, n. 2, p. 129-135, 2011.
- GARBIN, R. B.; HENKES, J. A. A sustentabilidade na produção de biocombustíveis de aviação no Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 7, n. 2, p. 67-104, 2018.
- GENEROSO, R. A.; RODRIGUES, P. B.; FREITAS, R. T. F.; SILVA, L. P.; SANTOS, Z. B. S. S. Composição química e energética de alguns alimentos para frangos de corte em duas idades. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 7, p. 1251-1256, 2008.
- GOES, R. H. T. B.; BRABES, K. C. S.; SOUZA, K. A.; MORAIS, M. G. **Alimentos e alimentação animal**. Dourados: Editora UFGD, 2013. 80 p.
- GOLDEMBERG, J.; GUARDABASSI, P. The potential for first-generation ethanol production from sugarcane. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 17-24, 2010.
- GUNEY, A. C.; SHIM, M. Y.; BATAL, A. B.; DALE, N. M.; PESTI, G. M. Effect of feeding low-oil distillers dried grains with solubles on the performance of broilers. **Poultry Science**, Champaign, v. 92, n. 8, p. 2070-2076, 2013.
- HARRI, A.; NALLEY, L.; HUDSON, D. The relationship between oil, exchange rates, and agricultural commodity prices. **Journal of Agricultural and Applied Economics**, v. 41, n. 2, p. 401-410, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S107407080000292X>. Acesso em: 27 fev. 2025.
- HENRY, M. H.; PESTI, G. M.; BAKALLI, R.; LEE, J. P.; TOLEDO, R. T.; EITENMILLER, R. R.; PHILLIPS, R. D. The performance of broiler chicks fed diets containing extruded cottonseed meal supplemented with lysine. **Poultry Science**, Champaign, v. 80, n. 6, p. 762-768, 2001.
- HILL, F. W.; ANDERSON, D. L. Comparison of metabolizable energy and productive energy determinations with growing chicks. **Journal of Nutrition**, [s. l.], v. 64, n. 3, p. 587-604, 1958.
- HOLANDA, M. A. C.; NUNES, R. V.; HOLANDA, M. C. M. M.; POZZA, P. C.; OLIVEIRA-BRUXEL, T. M.; SILVA, R. S. B.; EYNG, C. Coeficientes de digestibilidade e valores de energia metabolizável de farelos de algodão com diferentes níveis de proteína para frangos de corte. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 11, n. 4, p. 1059-1069, 2010.
- HOLANDA, M. A. C.; NUNES, R. V.; HOLANDA, M. C. M. M.; POZZA, P. C.; EYNG, C.; BORTOLUZZI, R. S. Valores de energia metabolizável de alguns ingredientes para frangos de corte determinados por diferentes metodologias. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 11, p. 2427-2433, 2010.

JANSSEN, W. M. M. A. **European table of energy values for poultry feedstuffs**. 3. ed. Beekbergen: WPSA, 1989.

JHA, R.; MISHRA, P. **Dietary fiber in poultry nutrition and their effects on nutrient utilization, performance, gut health, and on the environment: a review**. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, v. 12, n. 51, p. 1-16, 2021. DOI: [10.1186/s40104-021-00576-0](https://doi.org/10.1186/s40104-021-00576-0).

JORGE NETO, G. Soja integral na alimentação de aves e suínos. **Avicultura e Suinocultura Indústria**, [s. l.], v. 82, n. 988, p. 4-15, 1992.

KINDBERG, C. **Algodão: a fibra sustentável**. São Paulo: CIB, 2010. 44 p. Disponível em: https://cib.org.br/wp-content/uploads/2011/10/algodao_a_fibra_sustentavel.pdf. Acesso em: 8 fev. 2025.

LANA, R. P. **Nutrição e alimentação animal (mitos e realidades)**. Viçosa: UFV, 2005.

LANA, R. P. **Sistema Viçosa de formulação de rações**. Viçosa: UFV, 2000. 60 p.

LANGONE, M. G. S.; MÜLLER, J. A.; TAVERNARI, F. C. Correlação entre digestibilidade em pepsina com energia metabolizável e os coeficientes de digestibilidade de aminoácidos da farinha de vísceras e ossos de suínos para frangos de corte. *In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA SUÍNOS E AVES*, 17., 2023, Concórdia. **Anais...** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2023. p. 29-30.

LATIFI, M.; MORAVEJ, H.; GHAZIANI, F.; KIM, W. K. Determination of prediction equations for apparent metabolizable energy corrected for nitrogen of corn gluten meal and canola meal in broilers. **Poultry Science**, v. 102, n. 5, art. 102587, p. 1-10, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102587>. Acesso em: 27 julho 2025.

LIENER, I. E. Non-nutritive factors and bioactive compounds in soy. *In: Soy in animal nutrition*. [s. l.: s. n.], 2000. p. 13-45.

LIMA, C. B.; NUNES, R. V.; SCHERER, C.; SCOTTÁ, B. A.; EYNG, C.; POZZA, P. C. Fatores antinutricionais e processamento do grão de soja para alimentação animal. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos, v. 10, n. 4, p. 24-33, 2014.

LIMA, M. F.; SAKOMURA, N. K.; NEME, R.; SIQUEIRA, J. C.; FERNANDES, J. B. K. Efeito da temperatura de extrusão da soja integral sobre o desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 16, n. 1, p. 101-106, 2014.

LIMA, M. F. **Soja semi-integral submetida a diferentes temperaturas de extrusão na alimentação de frangos de corte**. 2016. 102 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2016.

LIMA, R. C.; NUNES, R. V.; NUNES, C. G. V.; OLIVEIRA-BRUXEL, T. M.; POZZA, P. C.; EYNG, C. Composição química e valores energéticos de alguns coprodutos para frangos de corte. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 14, n. 1, p. 118-127, 2013.

LIMA JÚNIOR, D. M.; MONTEIRO, P. B. S.; RANGEL, A. H. N. Fatores anti-nutricionais para ruminantes. **Acta Veterinária Brasília**, Mossoró, v. 3, n. 4, p. 132-143, 2010.

LIU, K. Chemical composition of distillers grains, a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 59, p. 1508-1526, 2011.

LOON, C. Y. **Fullfat soybean meal production and utilization**. American Soybean

Association, v. 37, 1997.

LOPES, A. M. **Uso de subprodutos do algodão na alimentação de ruminantes**. Viçosa: UFV, 2003.

LUMPKINS, B. S.; BATAL, A. B.; DALE, N. M. Evaluation of distillers dried grains with solubles as a feed ingredient for broilers. **Poultry Science**, Champaign, v. 83, n. 11, p. 1891-1896, 2004.

MANOCHIO, C.; ANDRADE, B. S.; RODRIGUEZ, R. P. S.; GONÇALVES, M. G. A. Ethanol from biomass: a comparative overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 80, p. 743-755, 2017.

MAIORKA, A. DDGS na avicultura: promessa nutricional ou risco escondido? **aviNews Brasil**, [s. l.], jun. 2025. Disponível em: <https://avinews.com/pt-br/>. Acesso em: 2 fev. 2025.

MARCHETTI, L. S. **Análise comparativa de uma planta de etanol de milho e de cana-de-açúcar**. 2023. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2023.

MARSÍGLIO, B. N. **Utilização de farelo de algodão na nutrição animal X gossipol**. Maringá: IEPEC, 2015.

MARTINEZ-AMEZCUA, C.; PARSONS, C. M.; SINGH, V.; SRINIVASAN, R.; HAUBER, J. S. Nutritional characteristics of corn distillers dried grains with solubles as affected by the amounts of grains versus solubles and different processing techniques. **Poultry Science**, Champaign, v. 86, n. 12, p. 2624-2630, 2007.

MATEOS, G. G.; JÍMENEZ-MORENO, E.; SERRANO, M. P.; LÁZARO, R. P. **Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics**. *Journal of Applied Poultry Research*, v. 21, n. 1, p. 156-174, 2012. DOI: [10.3382/japr.2011-00477](https://doi.org/10.3382/japr.2011-00477).

MEIRELES, A. C. S. **Equações de predição para energia metabolizável da soja semi-integral extrusada para frangos de corte em diferentes idades**. 2016. 64 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

MELLO, H. H. C.; GOMES, P. C.; ROSTAGNO, H. S.; CALDERANO, A. A.; MAGALHÃES, D. A.; ALMEIDA, R. L. Valores de energia metabolizável de alguns alimentos obtidos com aves de diferentes idades. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 863-868, 2009.

MELO, T. S.; SAKOMURA, N. K.; DORIGAM, J. C. P.; VAZ, R. G. M. V.; SILVA, E. P.; MARCATO, S. R. L. G. Inclusão do farelo de algodão e de fitase na ração de poedeiras leves. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 47., 2010, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: SBZ, 2010.

MELOCHE, K. J.; KERR, B. J.; BILLOR, N.; HESS, J. B.; DOZIER III, W. A. Apparent metabolizable energy and prediction equations for reduced-oil corn distillers dried grains with solubles in broiler chicks. **Poultry Science**, Champaign, v. 92, n. 12, p. 3176-3183, 2013.

MELOCHE, K. J.; KERR, B. J.; BILLOR, N.; HESS, J. B.; DOZIER III, W. A. Validation of prediction equations for apparent metabolizable energy of corn distillers dried grains with solubles in broiler chicks. **Poultry Science**, Champaign, v. 93, n. 6, p. 1428-1439, 2014.

- MENDES, W. S.; RODRIGUES, P. B.; FIALHO, E. T.; FREITAS, R. T. F.; SILVA, P. M. C.; MURGAS, L. D. S. Composição química e valor nutritivo da soja crua e submetida a diferentes processamentos térmicos para suínos em crescimento. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 56, n. 2, p. 207-213, 2004.
- MIRANDA, L. M. B. **Farelo de algodão em dietas com ou sem suplementação enzimática para frangos de corte**. 2015. 64 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.
- MONTAGNE, L.; PLUSKE, J. R.; HAMPSON, D. J. A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. **Animal Feed Science and Technology**, [s. l.], v. 108, p. 95-117, 2003.
- NAGALAKSHMI, D.; RAMA RAO, S. V.; PANDA, A. K.; SASTRY, V. R. B. Cotton meal in poultry diets: a review. **The Journal of Poultry Science**, [s. l.], v. 44, n. 2, p. 119-134, 2007.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of poultry**. 9. ed. rev. Washington, D.C.: National Academy Press, 1994. 155 p.
- NAGATA, A. K.; RODRIGUES, P. B.; FREITAS, R. T. F.; BERTECHINI, A. G.; FASSANI, E. J. Energia metabolizável de alguns alimentos energéticos para frangos de corte, determinada por ensaios metabólicos e por equações de predição. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, p. 751-757, 2003.
- NAGATA, A. K.; RODRIGUES, P. B.; FREITAS, R. T. F.; BERTECHINI, A. G.; FASSANI, E. J. Energia metabolizável de alguns alimentos energéticos para frangos de corte, determinada por ensaios metabólicos e por equações de predição. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 177-184, 2004.
- NAVARRO, G. **Nuevos conceptos de la soya integral en la alimentación avícola**. México: Asociación Americana de Soya, 1992. 6 p. (Boletim Técnico, 102).
- NOLASCO, G. Etanol de milho no podcast Conexão SCA Brasil: Guilherme Nolasco defende crescimento com responsabilidade. **UNEM**, Cuiabá, 2025.
- NUNES, I. J. **Nutrição animal básica**. Belo Horizonte: Editora FEP-MVZ, 1998. 399 p.
- NUNES, R. V.; ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; GOMES, P. C. Fatores antinutricionais dos ingredientes destinados à alimentação animal. In: SIMPÓSIO SOBRE INGREDIENTES NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL, 1., 2001, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: CBNA, 2001a. p. 235-269.
- NUNES, R. V.; ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; GOMES, P. C.; POZZA, P. C.; VIEITES, F. M. Composição bromatológica, energia metabolizável e equações de predição da energia do grão e de subprodutos do trigo para pintos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 785-793, 2001.
- NUNES, R. V.; SOUZA, C.; POZZA, P. C.; SCHERER, C.; SCOTTÁ, B. A.; NUNES, C. G. V. Avaliação nutricional e energética da soja integral desativada para aves. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 2, p. 143-151, 2015.
- NUNES, R. V.; ROSTAGNO, H. S.; GOMES, P. C.; NUNES, C. G. V.; POZZA, P. C.; ARAUJO, M. S. Coeficientes de metabolizabilidade da energia bruta de diferentes

- ingredientes para frangos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 37, n. 1, p. 89-94, 2008.
- OJEWOLA, G. S.; OKOYE, F. C.; UKOHA, O. A. Cottonseed meal as substitute for soybean meal in broiler ration. *International Journal of Poultry Science*, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 360-364, 2006.
- OLENTINE, C. Ingredient profile: distillers feed. *In: PROCEEDING OF THE DISTILLERS FEED CONFERENCE*, 41., 1986, Cincinnati. *Proceedings [...]*. Cincinnati: [s. n.], 1986. p. 13-24.
- OLIVEIRA, D. D.; ABREU, M. L. C.; FERREIRA, T. S. Utilização de coprodutos do biodiesel na alimentação de aves. *Ciência Animal*, Fortaleza, v. 23, n. 4, p. 33-46, 2013.
- OLIVEIRA, F. N.; RODRIGUES, P. B.; BERTECHINI, A. G.; FREITAS, R. T. F.; SANTOS, E. C. dos. Desempenho de frangos de corte nas fases de crescimento e final alimentados com rações contendo soja integral extrusada em diferentes temperaturas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1950-1955, 2005.
- OLIVEIRA, A. B. S. **Energia metabolizável e digestibilidade de aminoácidos de coprodutos do etanol de milho para frangos de corte**. 2019. 85 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019.
- PARSONS, C. M. Alternatives for improving the nutritional value and formulation of feeds. *In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CIÊNCIA AVÍCOLA*, 1998, [s. l.]. *Anais [...]*. [s. l.: s. n.], 1998. p. 179-188.
- PEDERSEN, M. B.; DALSGAARD, S.; KNUDSEN, K. E. B.; YU, S.; LÆRKE, H. N. Compositional profile and variation of Distillers Dried Grains with Solubles from various origins with focus on non-starch polysaccharides. *Animal Feed Science and Technology*, Amsterdam, v. 197, p. 130-141, 2014.
- PENZ JUNIOR, A. M.; GIANFELICE, M. O que fazer para substituir os insumos que podem migrar para a produção de bio-combustível. *Acta Scientiae Veterinariae*, Porto Alegre, v. 36, p. 107-117, 2008.
- PIMENTEL, A. C. S. **Substituição do milho e do farelo de soja por sorgo e farelo de caroço de algodão extrusado em rações para frangos de corte**. 2006. 68 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2006.
- PIMENTEL, A. C. S.; RODRIGUES, P. B.; FREITAS, R. T. F.; BERTECHINI, A. G.; FASSANI, E. J.; LIMA, R. R. Substituição parcial do milho e farelo de soja por sorgo e farelo de caroço de algodão extrusado em rações de frangos de corte. *Acta Scientiarum: Animal Sciences*, Maringá, v. 29, n. 2, p. 135-141, 2007.
- PRAWIRODIGDO, S.; KING, R. H.; DUNKIN, A. C.; TAVERNER, M. R. Nitrogen retention in pigs given diets containing cottonseed meal or soybean meal. *Animal Feed Science and Technology*, [S. l.], v. 67, n. 2-3, p. 205-211, 1997.
- QUEIROZ, F. C. M. **Análise de componentes principais na meta-análise para obtenção de equações de predição de valores energéticos de alimentos para aves**. 2010. 75 f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.
- RABOY, V.; NOAMAN, M. M.; TAYLOR, G. A.; PICKETT, S. G. Grain phytic acid and

- protein are highly correlated in winter wheat. **Crop Science**, Madison, v. 31, n. 3, p. 631-635, 1991.
- RAMOS, L. P.; KOTHE, V.; CÉSAR-OLIVEIRA, M. A. F.; MUNIZ-WYPYCH, A. S.; NAKAGAKI, S.; KRIEGER, N.; WIEDEMANN, L. S. M.; RICHTER, E. L. Biodiesel: matérias-primas, tecnologias de produção e propriedades combustíveis. **Revista Virtual de Química**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 317-369, 2017.
- RAMOS, L. S. N.; COSTA, F. G. P.; SILVA, J. H. V.; NASCIMENTO, M. R.; RODRIGUES, V. P. Polpa de caju para frangos de corte na fase final: desempenho e características de carcaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 804-810, 2006.
- RECH, C. J. Produção de etanol de milho no Brasil e caracterização de seus coprodutos. 2021. 115 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Jaboticabal, 2021.
- RECH, H.; ANDRETTA, I. Distillers Dried Grain with Solubles – DDGS: conhecer a produção para otimizar a aplicação. **nutriNews Brasil**, [s. l.], n. 4, p. 12-16, out./dez. 2022.
- REZENDE, I. M. B. L.; RODRIGUES, P. B.; FREITAS, R. T. F.; LIMA, R. R.; BERTECHINI, A. G.; OLIVEIRA, D. H. Digestibility of the cottonseed meal with or without addition of protease and phytase enzymes in swine diet. **Acta Scientiarum: Animal Sciences**, Maringá, v. 34, n. 3, p. 259-265, 2012.
- ROCHELL, S. J.; KERR, B. J.; DOZIER III, W. A. Energy determination of corn co-products fed to broiler chicks from 15 to 24 days of age, and use of composition analysis to predict nitrogen-corrected apparent metabolizable energy. **Poultry Science**, Champaign, v. 90, n. 9, p. 1999-2007, 2011.
- ROCHELL, S. J. Formulation of broiler chicken feeds using distillers dried grains with solubles. **Animals**, Basel, v. 8, n. 8, p. 139, 2018.
- RODRIGUES, P. B.; ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; GOMES, P. C.; NUNES, R. V.; TOLEDO, R. S. Valores energéticos da soja e subprodutos da soja, determinados com frangos de corte e galos adultos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 1771-1782, 2002.
- ROSTAGNO, H.S.; BÜNZEN, S.; SAKOMURA, N.K.; ALBINO, L.F.T. Avanços metodológicos na avaliação de alimentos e de exigências nutricionais para aves e suínos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, suplemento especial, p. 295-304, 2007.
- ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; HANNAS, M. I.; DONZELE, J. L.; SAKOMURA, N. K.; COSTA, F. G. P.; SARAIVA, A.; CALDERANO, A. A.; NUNES, R. V.; OLIVEIRA, M.; SIQUEIRA, C. S. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 5. ed. Viçosa, MG: Departamento de Zootecnia, UFV, 2024. 531 p.
- ROSSETO, R. E.; ROSSETO, E.; SILVA, W. T. M.; POZZA, P. C. Panorama do etanol brasileiro. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 6, n. 5, p. 13-22, 2017.
- SAKOMURA, N. K. Uso da soja integral na alimentação de aves. *In*: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE NUTRIÇÃO DE SUÍNOS E AVES, 1996, Piracicaba. **Anais [...]**. Piracicaba: CBNA, 1996. p. 26-38.
- SAKOMURA, N. K.; FREITAS, E. R.; SOUZA, H. B. A.; NAKAGI, N. K.; SANTOS, L. S.

Efeito da idade dos frangos de corte na atividade enzimática e digestibilidade dos nutrientes do farelo de soja e soja integral. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 924-935, 2004.

SAKOMURA, N. K.; FERNANDES, J. B. K.; NASCIMENTO, K. M. R. S.; BARBOSA, L. C. G. S.; MALHEIROS, E. B. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. 3. ed. Jaboticabal: Funep, 2024. 320 p.

SALIM, H. M.; KRAWCZYK, K. K.; HAHN, J. Nutritive value of corn distillers dried grains with solubles as an ingredient of poultry diets: a review. **World's Poultry Science Journal**, [s. l.], v. 66, n. 3, p. 411-432, 2010.

SAMAY, A. M. A. T. **Avaliação nutricional e energética do farelo de algodão com ou sem suplementação enzimática para frangos de corte**. 2012. 119 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012.

SANTOS, A. P. S. F. **Efeito da substituição da proteína do farelo de soja pela proteína do farelo de algodão sobre o desempenho e avaliação de carcaças em frangos de corte**. 2006. 55 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2006.

SANTOS, F. R.; ALBERTI, C. T.; MINAFRA, C. S.; SANTOS, P. A.; BRITO, M. S.; CARVALHO, J. V. Composição nutricional e valores energéticos determinados com frangos de corte de coprodutos do processamento do etanol de milho. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 71, n. 5, p. 1759-1763, 2019.

SANTOS FILHO, J. I.; BERTOL, T. M. Determinação do preço de venda do DDGS para a suinocultura. *In*: SALÃO INTERNACIONAL DE AVICULTURA E SUINOCULTURA, 2017, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: ABPA, 2017. p. 176-180.

SCHONE, R. A.; NUNES, R. V.; POZZA, P. C.; SCHERER, C.; SILVA, W. T. M.; SANGALLI, C. P. Resíduo seco de destilaria com solúveis (DDGS) na alimentação de frangos de corte (22-42 dias). **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 3, p. 548-557, 2017.

SCOTTÁ, B. A. **Valores energéticos e de aminoácidos digestíveis de alguns alimentos para frangos de corte**. 2011. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

SCOTTÁ, B. A.; VAZ, C. L. C.; GOMES, J. P. L.; SILVA, J. B. L.; SILVA, S. R.; NUNES, C. G. V.; NUNES, R. V. Determinação da composição química e dos valores de energia metabolizável de alguns alimentos proteicos para frangos de corte. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 17, n. 4, p. 501-508, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-6891v17i422616>. Acesso em: 7 fev. 2025.

SELLE, P. H.; LIU, D. J.; LIU, S. Y.; HUANG, K. H.; COWIESON, A. J. Preliminary assessment of including a reducing agent (sodium metabisulphite) in 'all-sorghum' diets for broiler chickens. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 186, n. 1-2, p. 81-90, 2013.

SIBBALD, I. R. A bioassay for true metabolizable energy in feedstuffs. **Poultry Science**, Champaign, v. 55, p. 303-308, 1976.

SIBBALD, I. R. Measurement of bioavailable energy in poultry feedingstuffs: a review. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 62, n. 4, p. 983-1048, 1982.

- SIBBALD, I. R.; SLINGER, S. J. A biological assay for metabolizable energy in poultry feed ingredients together with findings which demonstrate some of the problems associated with evaluation of fats. **Poultry Science**, Champaign, v. 42, n. 1, p. 13-25, 1963.
- SILVA, B. C. R.; SIQUEIRA, J. C.; RODRIGUES, K. F.; VAZ, R. G. M. V.; SILVA, G. F.; MELO, L. S. Uso de coproduto de etanol de milho em ração para aves: análise. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 10, n. 4, p. e48210414408, 2021.
- SILVA, D. J. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa: UFV, 1986.
- SILVA, F. M. B.; NASCIMENTO, C. O. **Análise de viabilidade da produção de etanol derivado do milho: um estudo comparativo**. São Paulo: [s. n.], 2013.
- SILVA, J. R. **Resíduo seco de destilaria contendo solúveis (DDGS), com e sem xilanase, na alimentação de cães**. 2015. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
- SINDIRAÇÕES. **Bem-vindo (aos desafios e as emoções de) 2025**. São Paulo: Sindirações, 2025.
- SONG, M.; SHURSON, G. C.; JOHNSTON, L. J. Dietary effects of distillers dried grains with solubles (DDGS) on performance and milk composition of lactating sows. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 88, n. 10, p. 3313-3319, 2010.
- SOARES, K. R.; RODRIGUES, P. B.; FREITAS, R. T. F.; FASSANI, E. J.; VIEIRA, L. M. G.; SILVA, C. T. Valores de energia metabolizável de alimentos para pintos de corte na fase pré-inicial. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 1, p. 207-214, jan./fev. 2005.
- SOUZA, A. V. C. **Utilização do farelo de algodão para suínos e aves**. 2003. Disponível em: http://www.polinutri.com.br/conteudo_dicas_janeiro_03.htm. Acesso em: 14 out. 2025.
- SPIEHS, M. J.; WHITNEY, M. H.; SHURSON, G. C. Nutrient database for distiller's dried grains with solubles produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota. **Journal of Animal Science**, v. 80, p. 2639–2645, 2002.
- STEIN, H. H.; PEDERSEN, C.; BOERSMA, M. G. Amino acid and energy digestibility in ten samples of distillers dried grain with solubles fed to growing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 84, n. 4, p. 853-860, 2006.
- STEVANATTO, I. **Carta Grãos e Agricultura: a safra 2024/25 de algodão deverá ser recorde**. Bebedouro: Scot Consultoria, 2025.
- STRINGHINI, J. H.; LEANDRO, N. S. M.; CAFÉ, M. B.; FRANCO, J. M. G.; RIBEIRO, M. L. M.; ANDREATTI FILHO, R. L. Composição e digestibilidade dos aminoácidos das sojas integrais processadas para aves. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 2, n. 1, p. 25-36, 2000.
- SWICK, R. A. **Soybean meal: present quality and future trends**. Thailand: American Soybean Association, 1998. (v. 14).
- TAY-ZAR, A. C.; WU, S. B.; SWICK, R. A. Evaluation of net energy systems for broiler chickens. **Poultry Science**, v. 102, n. 8, art. 102830, p. 1-13, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102830>. Acesso em: 20 out. 2025.
- TEIXEIRA, A. M.; GONÇALVES, L. C.; BORGES, I.; FERREIRA, P. M. S.; RODRIGUEZ, N. M. Farelo de algodão na alimentação de gado leiteiro. In: GONÇALVES, L. C.; BORGES,

I.; FERREIRA, P. D. S. (ed.). **Alimentos para gado de leite**. Belo Horizonte: Editora FEPMVZ, 2009. p. 119-144.

TEIXEIRA, A. S. **Alimentos e alimentação dos animais**. 5. ed. Lavras: UFLA, 2003. v. 1, 241 p.

TONISSI, R. H. et al. **Alimentos e alimentação animal**. Dourados: Editora UFGD, 2013. 80 p. Disponível em: [Alimentos e Alimentação Animal.indd](#). Acesso em 3 fev. 2025

TORRES, A. P. **Alimentos e nutrição das aves domésticas**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1979. 24 p.

UNIÃO NACIONAL DO ETANOL DE MILHO. **Dados setoriais: 2ª Conferência Internacional Unem DATAGRO**. Cuiabá: UNEM, 2025. Disponível em: <https://etanoldemilho.com.br>. Acesso em: 24 fev. 2025.

UNIÃO NACIONAL DO ETANOL DE MILHO. **UNEM consolida etanol de milho como solução global na COP30**. Cuiabá: UNEM, 2025. Disponível em: <https://etanoldemilho.com.br/unem-consolida-etanol-de-milho-como-solucao-global-na-cop30/>. Acesso em: 4 dez. 2025.

URRIOLA, P. E.; STEIN, H. H. Effects of distillers dried grains with soluble on the digestibility of energy, DM, AA, and fiber, and intestinal transit time in a corn soybean meal diet fed to growing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 87, p. 145-157, 2014.

USDA - DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DOS ESTADOS UNIDOS. **História da moagem de soja**. Washington: Imprensa do Governo dos EUA, 2016.

VALENTIM, J. K. **Grãos secos de destilaria com solúveis de milho na alimentação de frangos de corte**. 2018. 76 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2018.

WALDROUP, P. W. Whole soybeans for poultry feeds. **World's Poultry Science Journal**, [s. l.], v. 38, n. 1, p. 28-35, 1982.

WALDROUP, P. W.; KERSEY, J. H. Nutrient composition of cottonseed meal surveyed. **Feedstuffs**, Minnetonka, v. 74, n. 45, p. 11-12, 2002.

WARD, N. E. **Quality considerations for soybean meal**. [s. l.]: American Soybean Association, 1996. (v. 1, n. 195).

WU, S. B.; CHOCT, M.; PESTI, G.; SWICK, R. A. **Net energy prediction and energy efficiency of feed for broiler chickens**. *Poultry Science*, v. 98, n. 3, p. 1222-1234, 2019. DOI: [10.3382/ps/pey451](https://doi.org/10.3382/ps/pey451).

YU, T.-H. E.; BESSLER, D. A.; FULLER, S. **Cointegration and causality analysis of world vegetable oil and crude oil prices**. In: AMERICAN AGRICULTURAL ECONOMICS ASSOCIATION ANNUAL MEETING, 2006, Long Beach. **Selected Paper...** Long Beach: AAEA, 2006. p. 1-20. Disponível em: <http://ageconsearch.umn.edu/record/21350>. Acesso em: 27 jan. 2025.

ZANI, A. Vitrine Agro: bem-vindo (aos desafios e as emoções de) 2025. **Revista Feed&Food**, [s. l.], n. 214, p. 28, fev. 2025.

ZANOTTO, D. L.; KLEIN, C. H. **Utilização de complexos enzimáticos em dietas à base de milho e farelo de soja para frangos de corte**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2008.

(Comunicado Técnico, 471).

ZHAI, W.; ADEOLA, O. Metabolizable energy value of dried corn distillers grains and corn distillers grains with solubles for 6-week-old broiler chickens. **Poultry Science**, Champaign, v. 91, n. 3, p. 712-718, mar. 2012.

ZHANG, Y.; CAUPERT, J.; IMBOUA-NIAVA, E.; MUYLAERT, P.; SCHOLL, G. The occurrence and concentration of mycotoxins in U.S. distillers dried grains with solubles. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 57, n. 20, p. 9855-9860, 2009.

ZHAO, F.; HOU, L.; REN, W.; HOU, S. S.; XIE, M. Predicting metabolizable energy of normal corn from its chemical composition in adult pekin ducks. **Poultry Science**, Champaign, v. 87, n. 8, p. 1603-1608, 2008.

ZONTA, M. C. M.; RODRIGUES, P. B.; ZONTA, A.; FASSANI, E. J.; FREITAS, R. T. F.; SAKOMURA, N. K.; GOMIDE JUNIOR, L. S. Equações de predição da energia metabolizável do grão e dos farelos de soja para frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1497-1505, 2004.