

Efeitos do processamento do milho sobre o teor e o consumo de NDT e seu reflexo no desempenho de bovinos de corte em confinamento: revisão de literatura

Effects of corn processing on TDN content and intake and its impact on the performance of feedlot beef cattle: a literature review

Efectos del procesamiento del maíz sobre el contenido y la ingesta de TDN y su impacto en el rendimiento del ganado vacuno de engorde: una revisión bibliográfica

DOI: 10.34188/bjaerv8n3-046

Submetido: 30-05-2025

Aprovado: 15-06-2025

Pedro Eduardo Rodrigues Costa

Graduando em Zootecnia, Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Goiás

Goiânia, GO. Brasil

E-mail: pedro_eduardo@discente.ufg.br

Izadora Mazagão Veloso

Bacharel em Medicina Veterinária, Mestrando em Zootecnia, Programa de Pós Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Goiás

Goiânia, GO. Brasil

E-mail: izadoramazagao@gmail.com

Alessandro Rodrigues Costa Filho

Bacharel em Medicina Veterinária, Mestrando em Zootecnia, Programa de Pós Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Goiás

Goiânia, GO. Brasil

E-mail: alekrcfilho@gmail.com

João Pedro Curado Domingos

Especialista em produção de ruminantes FEALQ USP, Mestrando em Zootecnia, Programa de Pós Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Goiás

Goiânia, GO. Brasil

E-mail: pedrocles23@gmail.com

Wanderley Cabral Silva Junior

Bacharel em Medicina Veterinária

Goiânia, GO. Brasil

E-mail: Kbraljuniorr@gmail.com

Gabriela Marques Tramontini

Graduanda em Medicina Veterinária, Universidade Federal de Goiás

Goiânia, GO. Brasil

E-mail: tramontini_gabriela@discente.ufg.br

Juliano José de Resende Fernandes

Doutor em Ciência animal e pastagens ESALQ USP, Professor Titular da Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Goiás
Goiânia, GO. Brasil
E-mail: julianojrf@ufg.br

RESUMO

Este trabalho aborda a importância do processamento do milho na alimentação de bovinos de corte confinados, com foco na digestibilidade do amido e seu impacto sobre os Nutrientes Digestíveis Totais (NDT). A bovinocultura de corte brasileira, em franca expansão, demanda estratégias nutricionais eficientes para aumentar o desempenho animal e a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Nesse contexto, o milho destaca-se como principal fonte energética das dietas, sendo seu aproveitamento fortemente influenciado pelo tipo e grau de processamento. O estudo discute os efeitos de diferentes métodos de processamento – como moagem, floculação e silagem de grão úmido – sobre o local e a extensão da digestão do amido no trato gastrointestinal, relacionando-os com a taxa de passagem e a eficiência alimentar. Resultados de literatura indicam que processamentos intensivos elevam a digestibilidade total do amido e o valor de NDT, melhorando o ganho de peso e a conversão alimentar. Além disso, destaca-se o papel estratégico do NDT como ferramenta prática na formulação de dietas balanceadas, especialmente diante das limitações de mensuração da energia líquida em campo. Conclui-se que a escolha adequada do método de processamento do milho, aliada à interpretação criteriosa do NDT, é essencial para promover maior eficiência produtiva e econômica na terminação intensiva de bovinos de corte.

Palavras-chave: confinamento, granulometria, ruminante.

ABSTRACT

This study addresses the importance of corn processing in the feeding of feedlot-finished beef cattle, focusing on starch digestibility and its impact on Total Digestible Nutrients (TDN). The Brazilian beef cattle industry, which is rapidly expanding, demands efficient nutritional strategies to enhance animal performance and the sustainability of production systems. In this context, corn stands out as the main energy source in the diet, and its utilization is highly influenced by the type and degree of processing. The study discusses the effects of different processing methods — such as grinding, steam flaking, and high-moisture corn silage — on the site and extent of starch digestion in the gastrointestinal tract, linking them to passage rate and feed efficiency. Literature findings indicate that more intensive processing increases total starch digestibility and TDN values, thereby improving weight gain and feed conversion. Furthermore, TDN is highlighted as a strategic and practical tool for diet formulation, especially given the difficulties of measuring net energy under field conditions. It is concluded that the appropriate choice of corn processing method, combined with careful interpretation of TDN values, is essential to enhance productive and economic efficiency in intensive beef cattle finishing systems.

Keywords: feedlot, particle size, ruminant

RESUMEN

Este trabajo aborda la importancia del procesamiento del maíz en la alimentación del ganado vacuno de carne confinado, centrándose en la digestibilidad del almidón y su impacto sobre los nutrientes digestibles totales (NDT). La ganadería vacuna de carne brasileña, en plena expansión, exige estrategias nutricionales eficientes para aumentar el rendimiento animal y la sostenibilidad de los sistemas productivos. En este contexto, el maíz destaca como la principal fuente energética de las dietas, y su aprovechamiento está fuertemente influenciado por el tipo y el grado de procesamiento. El estudio analiza los efectos de diferentes métodos de procesamiento, como la molienda, la

floculação y el ensilado de grano húmedo, sobre la ubicación y la extensión de la digestión del almidón en el tracto gastrointestinal, relacionándolos con la tasa de paso y la eficiencia alimentaria. Los resultados de la literatura indican que los procesamientos intensivos aumentan la digestibilidad total del almidón y el valor del NDT, mejorando el aumento de peso y la conversión alimentaria. Además, se destaca el papel estratégico del NDT como herramienta práctica en la formulación de dietas equilibradas, especialmente ante las limitaciones de medición de la energía neta en el campo. Se concluye que la elección adecuada del método de procesamiento del maíz, junto con la interpretación cuidadosa del NDT, es esencial para promover una mayor eficiencia productiva y económica en el acabado intensivo de ganado vacuno de carne.

Palabras clave: corral de engorde, tamaño de partícula, rumiante

1 INTRODUÇÃO

A bovinocultura de corte brasileira ocupa posição de destaque no cenário global, consolidando-se como a maior exportadora de carne bovina do mundo. Em 2023, o Brasil exportou 2,29 milhões de toneladas de carne bovina, alcançando 157 países e movimentando US\$ 10,55 bilhões. No mesmo ano, o país manteve-se como o segundo maior produtor mundial, com produção equivalente a 10,6 milhões de toneladas de carcaça, o que representa 13,8% da produção global (Abiec, 2024). Esse desempenho ocorre em um contexto de crescente pressão por eficiência técnica e sustentabilidade econômica e ambiental na pecuária intensiva. A intensificação dos sistemas de terminação, como os confinamentos, tem se mostrado uma estratégia viável para suprir a demanda por carne de qualidade, otimizar o uso da terra e garantir estabilidade de oferta ao longo do ano (Mourão et al., 2016). Nesse modelo, a nutrição exerce papel central, com o milho destacando-se como a principal fonte de energia na dieta de bovinos confinados, devido ao seu elevado teor de amido. Contudo, a eficiência de utilização desse nutriente depende significativamente do método de processamento aplicado aos grãos (Theurer, 1986).

Conforme Huntington (1997), a digestão do amido em ruminantes envolve etapas complexas que variam entre os compartimentos do trato digestivo, sendo o local de digestão um fator determinante para a eficiência de conversão alimentar. O processamento do milho, ao promover maior exposição dos grânulos de amido à ação enzimática e microbiana, eleva a digestibilidade e reduz perdas metabólicas, otimizando o aproveitamento energético da dieta (Theurer, 1986). No entanto, fatores como o tipo de grão, grau de vitreosidade e infraestrutura disponível influenciam diretamente na escolha do método de processamento, especialmente em países tropicais como o Brasil, onde predomina o uso de grãos mais duros e resistentes a pragas (Pereira, 2014).

A busca por práticas nutricionais mais precisas motivou o uso de indicadores energéticos como os Nutrientes Digestíveis Totais (NDT), que, embora menos refinados que o sistema de energia líquida, oferecem estimativas viáveis para a formulação de dietas em condições de campo

(NRC, 2001; Rocha Júnior et al., 2003). Diante da crescente importância da sustentabilidade produtiva e da competitividade do setor, este trabalho propõe avaliar o efeito do processamento do milho sobre o valor de NDT em dietas de bovinos de corte em confinamento, com o intuito de identificar práticas nutricionais que otimizem o desempenho animal, contribuam para a eficiência produtiva e fortaleçam a competitividade da pecuária brasileira em nível global.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 IMPORTÂNCIA ESTRATÉGICA E CARACTERÍSTICAS DO MILHO NA NUTRIÇÃO DE BOVINOS CONFINADOS

O milho (*Zea mays*) desempenha um papel crucial como principal fonte energética em dietas formuladas para bovinos de corte em sistemas de confinamento. Sua relevância advém do elevado valor energético e da ampla disponibilidade em território nacional. Uma pesquisa conduzida por Monsalve e Millen (2025), indicou que o milho é o principal grão utilizado por nutricionistas em dietas de confinamento, sendo apontado como a escolha primária por 97,2% dos entrevistados. No cenário brasileiro, este cereal possui uma expressiva importância econômica correspondendo a 12,2% do valor bruto da produção (VBP) da agropecuária (Brasil, 2023). O Brasil consolidou-se, nos últimos anos, como o terceiro maior produtor mundial de milho, com uma produção estimada em 131.950.246 toneladas na safra de 2023 (IBGE, 2023).

O alto desempenho produtivo do milho está intrinsecamente ligado ao uso intensivo de biotecnologias, como sementes melhoradas, fertilizantes e defensivos agrícolas. Embora esses avanços tenham proporcionado ganhos significativos em produtividade, também resultaram em uma elevação nos custos de produção, principalmente devido à dependência de insumos externos, como os fertilizantes (Dalzotto Artuzo et al., 2018). Adicionalmente, entre 2020 e 2023, o valor da saca de milho (60 kg) apresentou forte oscilação, variando entre R\$ 46,81 e R\$ 103,09, o que reflete a instabilidade do mercado e seus impactos na cadeia produtiva (Cepea, 2023). Diante desse cenário, a variação nos preços do milho exerce uma influência considerável sobre a viabilidade econômica dos confinamentos, representando um desafio para o produtor. Em um estudo realizado por Lopes e Magalhães (2005), os custos com alimentação representaram 22,3% do total das despesas operacionais efetivas, enquanto a aquisição dos animais foi responsável por 68,4% dos custos totais do sistema, evidenciando a alimentação como o principal componente de custo dentre os insumos, excetuando-se a compra dos animais.

Além de sua relevância econômica e energética, o milho se destaca por suas características morfológicas e composicionais. Os grãos são constituídos por pedicelo, pericarpo, embrião e endosperma, que correspondem, respectivamente, a aproximadamente 1%, 5%, 12% e 82% do peso

seco de grãos maduros. O pericarpo, predominantemente fibroso, atua na proteção física do endosperma, que é composto principalmente por amido (86%) e proteínas (9%) (Pereira, 2014). A composição química do milho inclui, em média, 72% de amido, 9,5% de proteínas, 9% de fibra (majoritariamente fibra em detergente neutro – FDN) e 4% de óleo (Paes, 2006). A textura do grão varia entre cultivares, sendo determinada pela proporção de endosperma vítreo e farináceo. O endosperma farináceo caracteriza-se por grânulos de amido maiores, esféricos e dispostos em uma matriz proteica descontínua, enquanto o endosperma vítreo apresenta grânulos menores, angulosos e agregados em uma matriz proteica contínua. Grãos com maior proporção de endosperma vítreo são classificados como duros, ao passo que aqueles com predominância de endosperma farináceo são considerados macios (Pereira, 2014).

2.2 USO DO MILHO COMO FONTE ENERGÉTICA EM CONFINAMENTOS: DIGESTÃO, PROCESSAMENTO E EFICIÊNCIA NUTRICIONAL

Os carboidratos representam a maior fração da dieta de ruminantes, compreendendo entre 70% e 80% da matéria seca consumida. São fundamentais para o fornecimento de energia, síntese de proteína microbiana, manutenção das funções fisiológicas e consequentemente o desempenho produtivo. A fermentação desses carboidratos no rúmen resulta na produção de ácidos graxos voláteis (AGVs), que constituem a principal fonte de energia para os ruminantes, suprimindo até 80% de suas exigências energéticas diárias (Nussio et al., 2006).

Dietas com alta inclusão de grãos, como o milho, promovem uma redução do volume relativo dos órgãos do trato gastrointestinal dos ruminantes em comparação a dietas baseadas em forragens. Essa característica está associada à alta digestibilidade dos grãos e ao menor tamanho de partícula, que favorecem uma digestão e passagem mais rápidas pelo trato digestório. Consequentemente, observa-se um aumento da ingestão e disponibilidade de nutrientes para ganho de peso e deposição muscular. O amido, presente em grande quantidade no milho, é o principal nutriente energético nas dietas de confinamento, e sua utilização eficiente é crucial para maximizar o desempenho e a conversão alimentar dos animais (Pinedo; Berenchtein; Selem, 2008).

Em dietas contendo milho em sua composição, o amido é o principal responsável pela maior proporção da energia digestível em dietas de bovinos confinados, promovendo uma maior energia líquida de ganho em comparação a dietas com altos níveis de FDN. No entanto, sua digestibilidade pode ser significativamente comprometida quando o milho não é processado adequadamente, resultando em perdas de energia, déficits nutricionais e queda no desempenho animal. De acordo com Lima, Sucupira e Ortolani (2011), restrições energéticas exercem efeitos negativos sobre o crescimento e o metabolismo dos animais, sobretudo em decorrência da redução no consumo de

matéria seca, o que acarreta menor aporte energético global. O aproveitamento do amido está diretamente relacionado ao tipo de processamento do grão. O milho moído finamente, por exemplo, apresenta maior superfície de contato, o que facilita o ataque microbiano no rúmen e eleva a digestibilidade em comparação ao milho moído grosseiramente (Simas et al., 2008). Processos térmicos, como a floculação, promovem alterações físico-químicas, como a gelatinização, que também contribuem para o aumento da digestibilidade do amido (Mourão et al., 2016).

Dentre os métodos de processamento mais utilizados, destacam-se a moagem, a ensilagem do grão úmido, a laminação e a floculação. A moagem consiste na trituração do milho por moinhos de martelo ou rolo, resultando em partículas menores. A ensilagem do grão úmido envolve a colheita do milho com maior teor de umidade, seguido de armazenamento anaeróbico para fermentação. A laminação utiliza rolos metálicos para achatá-los, rompendo estruturas físicas. Já a floculação é realizada com o uso de vapor sob pressão seguido de laminação, promovendo alterações físico-químicas como a gelatinização do amido. Essas técnicas visam aumentar a área de superfície dos grãos, reduzir a proteção dos grânulos pela matriz proteica e elevar sua solubilidade, modificando a taxa de passagem e melhorando a degradabilidade ruminal (Caetano, 2008). A digestibilidade do amido pode variar amplamente em função da fonte do grão e, principalmente, do método de processamento adotado (Theurer, 1986). O tipo de milho processado também afeta diretamente a ingestão, a eficiência alimentar, o crescimento e os parâmetros ruminais, como a produção de AGVs (Lesmeister & Heinrichs, 2004).

Conclui-se, portanto, que o não processamento, ou o processamento inadequado do milho, configura-se como um fator limitante na nutrição de bovinos confinados. Essa prática reduz o aproveitamento da energia contida na dieta, eleva os custos de produção por unidade de ganho de peso e compromete a eficiência do sistema. Em contrapartida, o uso adequado de métodos de processamento é uma ferramenta estratégica para elevar a digestibilidade do amido, otimizar o desempenho animal e maximizar o retorno econômico nos sistemas intensivos de terminação.

2.3 NUTRIENTES DIGESTÍVEIS TOTAIS (NDT) COMO INDICADOR ENERGÉTICO E FERRAMENTA DE FORMULAÇÃO

Nesse contexto, o conceito de Nutrientes Digestíveis Totais (NDT) constitui uma ferramenta essencial para a mensuração da energia efetivamente disponível nos alimentos destinados a ruminantes, incluindo dietas com alta inclusão de milho. O NDT é definido como a soma das frações digestíveis de carboidratos, proteínas e lipídios, refletindo diretamente a porção de nutrientes aproveitada pelo metabolismo animal (NRC, 2001). O NDT dos alimentos pode ser calculado por meio da seguinte fórmula: $NDT = PBD + CNFD + FDNpD + 2,25 * EED$ (NRC, 2001), onde PBD

= proteína bruta digestível, CNFD = carboidratos não fibrosos digestíveis, FDNpD = fibra em detergente neutro corrigida para proteína digestível, e EED = extrato etéreo digestível. Essa abordagem permite uma estimativa mais integrada da energia disponível com base na digestibilidade específica de cada fração alimentar.

A aplicação de diferentes métodos de processamento do milho tem como principal objetivo aumentar a disponibilidade do amido e, conseqüentemente, o valor energético do alimento. Isso ocorre por meio da eliminação de barreiras físicas, como o pericarpo, e da redução da influência da matriz proteica sobre os grânulos de amido, facilitando o acesso dos microrganismos ruminais ao substrato (Owens; Zinn; Kim, 1986). O grau de processamento interfere diretamente na concentração de energia rapidamente fermentável no rúmen, promovendo aumento na produção de proteína microbiana e ácidos graxos voláteis, o que se reflete em melhor desempenho zootécnico dos animais confinados (Owens et al., 1997).

Dessa forma, o NDT também se consolida como um importante indicador de eficiência dos diferentes métodos de processamento, sendo útil não apenas na avaliação nutricional dos alimentos, mas também como parâmetro essencial para a formulação de dietas balanceadas e economicamente viáveis. Entre suas vantagens, destaca-se a simplicidade de aplicação em campo, baixo custo e boa aplicabilidade em sistemas intensivos. Por outro lado, o método não considera as perdas energéticas metabólicas, como calor, metano ou excreção de nitrogênio, o que pode levar a estimativas menos precisas em comparação ao sistema de energia líquida. Estudos como o de Rocha Júnior et al. (2003) validam as equações propostas pelo NRC (2001) para predição do NDT em alimentos concentrados e, com menor precisão, também em volumosos, demonstrando a aplicabilidade prática desse indicador na nutrição de ruminantes em sistemas intensivos.

2.4 COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES MÉTODOS DE PROCESSAMENTO E SEUS EFEITOS SOBRE O NDT

Com base na avaliação apresentada por Owens et al. (1986) na Tabela 1, observa-se que o processamento do milho exerce impacto direto sobre a digestibilidade do amido ao longo do trato digestivo dos ruminantes e, conseqüentemente, sobre o valor de NDT da dieta. No estudo, todos os tratamentos utilizaram milho do tipo macio, caracterizado por menor proporção de endosperma vítreo. Entre os métodos comparados, o grão inteiro apresentou a menor digestibilidade ruminal (58,9%). Apesar de sua digestibilidade total ser relativamente elevada (91,7%), uma parcela significativa do amido só é aproveitada nos segmentos intestinais, o que pode limitar a eficiência da síntese de proteína microbiana no rúmen (Pathak, 2008). Por outro lado, o milho moído grosso proporcionou maior digestibilidade ruminal (68,9%), mas menor digestibilidade total (87,6%), em

função da menor absorção intestinal. A moagem fina e o laminado a seco aumentaram a digestibilidade ruminal (77,7% e 71,8%, respectivamente) e elevaram a digestibilidade total para cerca de 93%, demonstrando que a redução no tamanho de partícula e o aumento da área exposta para a colonização microbiana e a penetração de enzimas amilolíticas, favorece o aproveitamento do amido no rúmen. A silagem de grão úmido apresentou a maior digestibilidade ruminal (86,0%) e digestibilidade total de 94,6%, confirmando sua eficácia em romper barreiras físicas e facilitar o ataque microbiano. No entanto, o maior valor foi observado com o floculamento a vapor, que resultou em digestibilidade ruminal de 82,8% e digestibilidade total de 97,8%, sendo o método que mais otimizou a disponibilidade do amido para absorção. Esses dados reforçam que o grau e o tipo de processamento influenciam significativamente o valor de NDT da dieta, sendo os métodos mais intensivos os que promovem maior eficiência de uso da energia pelos bovinos confinados.

Tabela 1 - Digestibilidade do amido no trato digestivo de bovinos alimentados com milho processado de diferentes formas.

Tipo de milho processado	Rúmen (%)	Intestino delgado (%)	Intestino grosso (%)	Digestibilidade total (%)
Grão inteiro (milho mole)	58,9	17,0	2,8	91,7
Moído grosso	68,9	12,9	5,8	87,6
Laminado a seco	71,8	17,3	4,1	93,2
Moído fino	77,7	12,3	3,5	93,5
Silagem de grão úmido	86,0	7,4	1,2	94,6
Floculamento a vapor	82,8	13,1	1,9	97,8

Adaptado de Owens, 1987

2.5 RELAÇÃO ENTRE NDT E DESEMPENHO ZOOTÉCNICO

A relação entre o nível de Nutrientes Digestíveis Totais (NDT) na dieta e o desempenho zootécnico em bovinos de corte é bem documentada. Silva et al. (2005) observaram que dietas com incremento de concentrado — com valores de NDT variando entre 60,0% e 75,9% — elevaram o ganho médio diário (GMD) de 0,14 kg a 0,95 kg/dia. Nesse estudo, o consumo de NDT aumentou de 3,19 para 7,23 kg/dia, reforçando a forte correlação entre ingestão energética e desempenho. Owens et al. (1997) também destacam que dietas com maior digestibilidade do amido — e, portanto, maior NDT — promovem melhor conversão alimentar (G:F), com menor consumo de matéria seca por unidade de peso ganho. Ademais, o NRC (2001) fornece equações que preveem diretamente o desempenho com base no NDT, consolidando-o como ferramenta prática e eficaz na formulação de dietas.

Entretanto, estudos com bovinos Nelore têm demonstrado que a inclusão mínima de volumoso em dietas à base de milho grão inteiro pode aumentar significativamente o consumo total de matéria seca (MS) e, por conseguinte, o aporte energético em kg de NDT ao dia. Contadini (2015) observou em dietas com alta proporção de concentrado que a inclusão de 5% e 12% de feno

aumentou o consumo de MS de 6,5 para 8,5 e 9,4 kg/dia, resultando em ganho médio diário superior (1,338 kg/dia com 5%) em comparação ao grupo sem volumoso (760 g/dia). Esses resultados evidenciam que, mesmo com alto percentual de NDT da dieta sem volumoso, a maior ingestão total de nutrientes com mínimo de fibra fisicamente efetiva (FDNfe) promove melhor desempenho. Belli et al. (2025) confirmam que níveis mínimos de FDNfe estimulam a ruminação, estabilizam o pH ruminal e aumentam significativamente o consumo voluntário de MS, assegurando maior aporte energético e eficiência metabólica.

Apesar de dietas com maior teor de concentrado apresentarem maior densidade energética e, consequentemente, menor conversão alimentar, o desempenho animal está diretamente relacionado ao consumo total de nutrientes digestíveis. Isso foi evidenciado por Duarte (2015), que avaliou diferentes proporções de silagem de capim na dieta de tourinhos Nelore confinados. No estudo, a dieta com 20% de silagem — embora apresentasse menor valor percentual de NDT (759 g/kg) e maior conversão alimentar (5,69 kg MS/kg GMD) do que a dieta com 10% de silagem (NDT de 800 g/kg e CA de 5,07) — resultou em ganho médio diário superior (1,67 kg/dia), graças ao maior consumo de matéria seca (9,7 kg/dia) e, consequentemente, maior ingestão total de NDT (7,10 kg/dia). Esses dados destacam que o desempenho produtivo não depende exclusivamente da densidade energética da dieta, mas também da quantidade total de energia efetivamente consumida, reforçando a importância de um equilíbrio entre o teor de volumoso e o potencial de consumo dos animais. Assim, incluir teores moderados de volumoso, mesmo que reduza a concentração de NDT da dieta, pode aumentar o consumo total e favorecer o desempenho, desde que a dieta esteja ajustada para maximizar o consumo voluntário e a eficiência digestiva.

2.6 EFEITO DO PROCESSAMENTO SOBRE O LOCAL DE DIGESTÃO DO AMIDO E TAXA DE PASSAGEM

O processamento do milho influencia diretamente o sítio de digestão do amido, alterando a proporção degradada no rúmen e no intestino delgado, com implicações significativas sobre a eficiência energética da dieta. Conforme demonstrado por Owens et al. (1986) na Tabela 1, grãos submetidos a processamentos mais intensivos — como a floculação a vapor, que apresentou 82,8% de digestibilidade ruminal e apenas 13,1% de digestão intestinal — tendem a concentrar a maior parte da digestão no rúmen. O mesmo padrão é observado para o milho moído fino, com 77,7% de digestibilidade ruminal e 12,3% no intestino delgado, indicando que o aumento da área de superfície favorece a fermentação pré-intestinal. Isso favorece a produção de ácidos graxos voláteis (AGV) no rúmen — principais fontes de energia para bovinos — mas também está associado a maiores perdas energéticas na forma de calor, metano e excreção de nitrogênio (Van Soest, 1994). Em contrapartida,

quando se utiliza milho menos processado, como o grão inteiro com maior proporção de endosperma farináceo, a digestibilidade ruminal é menor (58,9%) e uma maior proporção do amido atinge o intestino, como observado com 17,0% de digestão no intestino delgado e 2,8% no intestino grosso. Esse deslocamento do sítio de digestão para o intestino permite maior absorção direta de glicose. De acordo com os autores (Owens et al., 1986), o amido digerido no intestino é aproveitado com até 42% mais eficiência metabólica do que o amido fermentado no rúmen.

Entretanto, embora a digestão intestinal do amido em ruminantes represente uma via energética teoricamente mais eficiente, diversos estudos demonstram que sua eficácia prática é limitada por fatores fisiológicos e estruturais. Segundo Owens et al. (1986), a digestão pós-ruminal do amido é incompleta e sujeita a uma série de restrições, como a baixa produção de amilase pancreática em bovinos, o tempo de trânsito intestinal reduzido, a estrutura resistente de alguns grânulos de amido e a limitação na absorção de glicose na mucosa intestinal. Adicionalmente, o trato gastrointestinal, em especial o intestino delgado, apresenta alta exigência energética para manutenção (Ferrell & Jenkins, 1985). Assim, o desvio do sítio de digestão para o intestino pode, em muitos casos, elevar o consumo metabólico do trato gastrointestinal, reduzindo a energia líquida para ganho, com potencial de interferir no crescimento dos tecidos muscular e adiposo.

Apesar de a fermentação ruminal acarretar perdas inevitáveis de energia, como a forma de calor e metano, a otimização da digestão ruminal do amido é crucial para maximizar a produção de AGVs e a síntese de proteína microbiana, que são as principais fontes de energia e proteína para o animal. Portanto, aumentar a proporção de digestão do amido no rúmen por meio do uso de grãos mais processados pode resultar em maior eficiência energética da dieta. Contudo, esse benefício está condicionado ao manejo adequado da formulação, uma vez que, segundo Mourão et al. (2016), grãos intensamente processados — como os moídos finos ou floculados — elevam o risco de distúrbios metabólicos, como a acidose ruminal. Para mitigar esses efeitos, é fundamental ajustar o teor de fibra da dieta, especialmente a fibra fisicamente efetiva, a fim de promover um ambiente ruminal estável (Allen, Voelker & Oba, 2006). Embora os estudos de infusão conduzidos por Little, Mitchell e Reitnour (1968) tenham demonstrado que quantidades crescentes de amido podem ser digeridas no intestino delgado, os autores observaram uma redução na eficiência da digestão à medida que os níveis infundidos aumentavam. Esse achado indica que, apesar de não haver um limite absoluto previamente definido para a digestão intestinal do amido, sua eficácia prática apresenta restrições que dificultam sua plena utilização em sistemas comerciais de confinamento.

O tipo de processamento do milho influencia não apenas a digestibilidade do amido, mas também a taxa de passagem dos alimentos pelo trato digestivo dos ruminantes. Conforme Nocek e Tamminga (1991), grãos submetidos à moagem fina apresentam maior fermentabilidade e menor

tempo de retenção ruminal, devido ao aumento da densidade das partículas e a gravidade específica que faz com que as partículas pequenas afundem e saiam do rúmen. No entanto, diferentemente do que se observa com ingredientes de baixa digestibilidade, essa redução no tempo de permanência não compromete o aproveitamento do amido, pois o processamento intensivo também promove maior exposição dos grânulos ao ataque microbiano e enzimático, elevando significativamente sua digestibilidade. Métodos como a floculação, por exemplo, além de reduzirem o tamanho de partícula e a densidade do grão — fatores que naturalmente aumentam a taxa de passagem —, potencializam a degradação ruminal e intestinal do amido (Theurer, 1986).

Por outro lado, formas menos processadas, como o milho grão inteiro, permanecem mais tempo no rúmen devido à sua menor densidade, mas apresentam menor digestibilidade, o que pode limitar o aproveitamento energético. Dessa forma, o aumento da taxa de passagem observado em grãos intensivamente processados não representa uma limitação, mas sim um componente secundário dentro do contexto em que a digestibilidade será substancialmente aprimorada pelo processamento. Rodrigues et al. (2024) avaliou o desempenho de bovinos cruzados alimentados com grão inteiro em confinamento, resultando em maior desempenho de bovinos que possuem heterose em sua base genética, sendo assim capazes de potencializar o GMD, possibilitando melhorias no retorno financeiro. Assim, a escolha do método de processamento deve priorizar a otimização da digestão do amido, equilibrando sua distribuição entre os compartimentos do trato digestivo. O tipo e o grau de processamento devem favorecer tanto a síntese de proteína microbiana no rúmen quanto a absorção eficiente de nutrientes, com objetivo de melhorar a conversão alimentar e o desempenho animal, atendendo às exigências energéticas da terminação intensiva.

2.7 EFICIÊNCIA ECONÔMICA DO PROCESSAMENTO

Contudo, essa melhoria na digestibilidade deve ser equilibrada com os custos associados aos diferentes métodos de processamento. Entre as tecnologias disponíveis para alavancar o desempenho produtivo dos rebanhos, destaca-se a utilização de grãos processados, uma vez que permitem alterar o potencial nutricional dos ingredientes sem aumentar significativamente o custo da dieta. No entanto, o investimento inicial em equipamentos especializados, como floculadores ou laminação a vapor, representa um fator limitante, especialmente para confinamentos de menor porte (Mourão et al., 2016).

Além do custo de aquisição e manutenção dos equipamentos, os métodos mais intensivos, como a floculação, também envolvem elevados custos operacionais, como maior consumo de energia, necessidade de mão de obra qualificada, e aumento no tempo de preparo das dietas. De acordo com o levantamento de Monsalve e Millen (2025), a adoção de tecnologias mais complexas

é dificultada no campo pela dificuldade de padronização dos processos, exigência de maior organização e logística no fornecimento da dieta, além da necessidade de estrutura compatível com a escala de produção. Isso explica por que, apesar da comprovada superioridade zootécnica da floculação, seu uso ainda é pouco frequente entre os nutricionistas consultados, sendo referida como método principal de processamento por apenas 2,86% dos entrevistados.

Segundo Owens et al. (1997), métodos como a floculação a vapor aumentam significativamente o valor energético metabolizável do milho em até 15% em comparação com o milho seco laminado. Essa melhoria na eficiência alimentar se reflete em melhores taxas de conversão e menor consumo de matéria seca para o mesmo ganho de peso. Em contraponto, Paulino et al. (2013) demonstraram que dietas baseadas em milho grão inteiro, embora apresentem menor digestibilidade ruminal do amido, oferecem benefícios econômicos significativos. Em dois confinamentos comerciais avaliados, a substituição parcial da dieta tradicional por grão inteiro nos últimos 30 a 40 dias de terminação reduziu o consumo alimentar em até 18,5%, melhorou a conversão alimentar em até 18,4% e aumentou o rendimento de carcaça. Esses ganhos zootécnicos, somados à economia operacional (redução de mão de obra, energia, equipamentos e tempo), tornaram essa estratégia economicamente viável nesse contexto específico, mesmo com menor aproveitamento do amido.

Assim, o custo-benefício do processamento do milho depende da estrutura produtiva do confinamento, do perfil genético dos animais, e do tempo de terminação. Enquanto processamentos intensivos como a floculação apresentam alta eficiência zootécnica e energética, seu retorno econômico depende do volume produzido e da escala da operação. Já o uso de milho grão inteiro, embora menos eficiente na digestibilidade, pode ser vantajoso em sistemas bem geridos com menor estrutura, especialmente se adotado estrategicamente na fase final de engorda.

2.8 RELEVÂNCIA DO NDT NA FORMULAÇÃO DE DIETAS E NOS RESULTADOS PRODUTIVOS DA PECUÁRIA DE CORTE

A análise dos Nutrientes Digestíveis Totais (NDT) representa uma ferramenta essencial na formulação de dietas para bovinos de corte, especialmente diante das limitações técnicas e econômicas associadas à mensuração direta da energia metabolizável (EM) ou líquida (EL) em laboratórios convencionais. Nesse cenário, o NDT destaca-se como uma alternativa prática, robusta e amplamente empregada, sobretudo em dietas com milho como principal fonte energética.

Segundo Cappelle et al. (2001), a digestibilidade dos ingredientes apresenta correlação positiva com o NDT, enquanto os teores de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) correlacionam-se negativamente com esse valor. Dessa forma, alimentos com maior

teor de fibra tendem a apresentar menor valor de NDT, evidenciando a importância da composição química dos ingredientes na predição do valor energético da dieta. Assim, a interpretação do NDT deve considerar, necessariamente, outras variáveis nutricionais que influenciam diretamente seu aproveitamento.

Embora o sistema de energia líquida seja mais preciso por contabilizar as perdas energéticas decorrentes da fermentação, digestão e metabolismo, sua utilização prática em dietas comerciais é limitada, sobretudo em razão da exigência por ensaios metabólicos complexos e de alto custo (NRC, 2001; Van Soest, 1994). Como alternativa, o NDT, baseado em análises bromatológicas rotineiras, oferece estimativas confiáveis da energia disponível na dieta, sendo por isso largamente adotado em sistemas de produção intensiva, como os confinamentos (Capelle et al., 2001).

Adicionalmente, o NRC (2001) ressalta a aplicação de equações de regressão baseadas em variáveis químicas como FDA, FDN e proteína bruta (PB) para estimar o NDT de forma consistente. Tais equações, ajustadas conforme o tipo de ingrediente (volumoso ou concentrado), conferem maior flexibilidade e precisão na formulação de dietas energéticas adaptadas às diferentes fases fisiológicas e produtivas dos animais.

Portanto, na prática zootécnica, a utilização criteriosa do NDT é indispensável não apenas para assegurar o fornecimento energético adequado, mas também para otimizar a eficiência de conversão alimentar e minimizar perdas econômicas decorrentes de formulações desequilibradas. A desatenção a esse parâmetro pode comprometer seriamente o desempenho zootécnico e elevar o custo por unidade de ganho de peso, especialmente em sistemas de confinamento que operam com alta densidade energética.

Dessa forma, as decisões relacionadas ao tipo de processamento do milho na formulação de dietas para bovinos confinados extrapolam os aspectos estritamente nutricionais, impactando diversos elos da cadeia produtiva. Estratégias que aumentam o valor dos Nutrientes Digestíveis Totais (NDT) promovem o uso mais eficiente dos nutrientes e recursos naturais, reduzindo desperdícios e reforçando a sustentabilidade na produção animal. O processamento adequado dos grãos melhora a digestibilidade do amido e a eficiência alimentar, favorecendo maior ganho de peso com menor consumo de matéria seca e otimizando o custo por unidade de produto. Quando ajustado às condições do sistema produtivo, o uso racional do processamento contribui para a eficiência nutricional da dieta e melhores índices zootécnicos em sistemas intensivos de terminação.

Nesse contexto, o conceito de NDT, aliado ao manejo estratégico do processamento do milho, constitui uma ferramenta relevante para aumentar a rentabilidade e a eficiência técnica dos confinamentos. Segundo o Beef Cattle Research Council (2023), avanços nas tecnologias alimentares, incluindo o processamento de grãos, têm ampliado a eficiência de conversão alimentar,

elevando a produtividade e reduzindo custos. De forma complementar, Owens et al. (1997) ressaltam que dietas com maior densidade energética, associadas ao adequado processamento, resultam em melhor desempenho, acabamento de carcaça e redução dos custos operacionais.

3 CONCLUSÃO

O processamento do milho para bovinos confinados configura-se como uma estratégia essencial para maximizar a eficiência energética da dieta e o desempenho zootécnico dos animais. A revisão da literatura demonstrou que métodos mais intensivos de processamento aumentam significativamente a digestibilidade ruminal e total do amido, promovendo maior produção de ácidos graxos voláteis e melhor conversão alimentar. Embora o uso de milho grão inteiro possa apresentar vantagens econômicas em determinados cenários, sua menor digestibilidade pode limitar o desempenho produtivo.

A escolha do método de processamento deve considerar o equilíbrio entre viabilidade econômica e eficiência zootécnica, respeitando as especificidades de cada sistema de confinamento. Nesse cenário, o conceito de NDT assume papel crucial como indicador do valor energético da dieta e da eficácia do processamento adotado. A otimização desse parâmetro, por meio do uso adequado das tecnologias de processamento, contribui para sistemas produtivos mais sustentáveis, eficientes e economicamente viáveis. Assim, compreender os efeitos do processamento sobre a digestibilidade do amido e o NDT é fundamental para a formulação de dietas estratégicas que favoreçam a produtividade e a rentabilidade da cadeia de bovinos de corte.

Novas pesquisas devem ser realizadas visando a avaliação da granulometria dos grãos em desempenho zootécnico e de repostas inflamatória em bovinos de corte confinados, portanto algumas variáveis deverão ser propostas em estudos futuros. Devido a demanda de melhoria na eficiência de produção e competição com outros merados de nutrição animal e humana, faz-se necessário a implementação de acompanhamento no confinamento de tamanho de partículas, eficiência biológica e inclusão mínima de fibra na dieta.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

ABIEC – Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. Beef Report 2024: perfil da pecuária no Brasil. São Paulo: ABIEC, 2024. Disponível em: https://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2024-perfil-da-pecuaria-no-brasil/#dfliip-df_5981/4/. Acesso em: 15 jun. 2025.

Allen, M. S.; Voelker, J. A.; Oba, M. Physically effective fiber and regulation of ruminal pH: more than just chewing. In: *Production Diseases in farm animals*, Wageningen Academic Publishers, 2006. p. 270–278. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/260985925_Physically_Effective_Fiber_and_Regulation_of_Ruminal_pH_More_Than_Just_Chewing. Acesso em: 15 jun. 2025.

Artuzo, F. D. et al. Costs management in maize and soybean production. *Review of Business Management*, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 273–294, 2018. DOI: 10.7819/rbgn.v20i2.3192. Disponível em: <https://rbgn.fecap.br/RBGN/article/view/3192>. Acesso em: 15 jun. 2025.

Beef Cattle Research Council – BCRC. Optimizing feedlot efficiency. 2023. Disponível em: <https://www.beefresearch.ca/topics/optimizing-feedlot-efficiency/>. Acesso em: 15 jun. 2025.

Belli, V. P. et al. Forage and non-forage fiber sources in high-concentrate diets for finishing beef steers: production and behavioral parameters. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 55, n. 7, e20240388, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20240388>. Acesso em: 15 jun. 2025.

Brasil - Ministério da Agricultura e Pecuária. Valor da produção agropecuária deve atingir R\$ 1,159 trilhão este ano. Ministério da Agricultura e Pecuária. Brasília, 13 dez. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/valor-da-producao-agropecuaria-deve-atingir-r-1-159-trilhao-este-ano>. Acesso em: 15 jun. 2025.

Caetano, M. Estudo das perdas de amido em confinamentos brasileiros e do uso do amido fecal como ferramenta de manejo de bovinos confinados. 2008. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008. DOI: 10.11606/D.11.2008.tde-28072008-152702. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11139/tde-28072008-152702/pt-br.php>. Acesso em: 15 jun. 2025.

Cappelle, E. R. et al. Estimativas do valor energético a partir de características químicas e bromatológicas dos alimentos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 30, n. 6, p. 1837–1856, 2001. DOI: 10.1590/S1516-35982001000700022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/HLRc6DKXPtWzCLPcsNdvdNN/>. Acesso em: 15 jun. 2025.

Contadini, M. A. Níveis de volumoso em dietas de grão de milho inteiro para bovinos de corte confinados. 2015. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Produtividade Animal) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2015. DOI: 10.11606/D.74.2016.tde-03022016-105510. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74131/tde-03022016-105510/pt-br.php>. Acesso em: 15 jun. 2025.

Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada– CEPEA. Indicador de preços do milho. Piracicaba, 2025. Disponível em: <https://www.cepea.org.br/br/indicador/milho.aspx>. Acesso em: 15 jun. 2025.

Duarte, T. D. E. Terminação de tourinhos Nelore em confinamento com diferentes níveis de silagem de capim. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal Tropical) – Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal do Tocantins, Araguaína, 2015. Disponível em:

https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFT_0af4d4da5b97c9085228fce1168fc491. Acesso em: 15 jun. 2025.

Huntington, G. B. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. *Journal of Animal Science*, Champaign, IL, v. 75, n. 3, p. 852, 1997. DOI: 10.2527/1997.753852x. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9078506/>. Acesso em: 15 jun. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Milho em grão. Rio de Janeiro: IBGE, [s.d.]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/milho-em-grao/br>. Acesso em: 15 jun. 2025.

Lesmeister, K. E.; Heinrichs, A. J. Effects of corn processing on growth characteristics, rumen development, and rumen parameters in neonatal dairy calves. *Journal of Dairy Science*, Champaign, IL, v. 87, n. 10, p. 3439–3450, out. 2004. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73479-7. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030204734797>. Acesso em: 15 jun. 2025.

Lima, A. S.; Sucupira, M. C. A.; Ortolani, E. L. Bovinos submetidos a dietas deficientes em energia por longo período: desempenho animal e sua relação com os teores de T3 e IGF-1. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, São Paulo, v. 48, n. 1, p. 19, 1 fev. 2011. DOI: 10.11606/s1413-95962011000100003. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002184116>. Acesso em: 15 jun. 2025.

Little, C. O.; Mitchell, G. E.; Reitnour, C. M. Postruminal digestion of corn starch in steers. *Journal of Animal Science*, Champaign, IL, v. 27, n. 3, p. 790, 1968. DOI: 10.2527/jas1968.273790x. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/5691011/>. Acesso em: 15 jun. 2025.

Lopes, M. A.; Magalhães, G. P. Análise da rentabilidade da terminação de bovinos de corte em condições de confinamento: um estudo de caso. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, Belo Horizonte, v. 57, n. 3, p. 374–379, jun. 2005. DOI: 10.1590/S0102-09352005000300016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abmvz/a/FJngNcnQJB5Gns5s54d3Ppm/?lang=pt>. Acesso em: 15 jun. 2025.

Monsalve, J. G.; Millen, D. D. A snapshot of nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists in Brazil in 2023. *Frontiers in Veterinary Science*, Lausanne, v. 12, p. 1518571, 2025. DOI: 10.3389/fvets.2025.1518571. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12175091/>. Acesso em: 15 jun. 2025.

Mourão, R. C. et al. Processamento do milho na alimentação de ruminantes. *Pubvet*, Maringá, v. 6, n. 05, 1 jul. 2016. DOI: 10.22256/pubvet.v16n5.1292. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/282252592>. Acesso em: 15 jun. 2025.

Nocek, J. E.; Tamminga, S. Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. *Journal of Dairy Science*, Champaign, IL, v. 74, n. 10, p. 3598–3629, out. 1991. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78552-4. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1744284/>. Acesso em: 15 jun. 2025.

Nussio, L. G.; Campos, F. P.; Lima, M. L. M. Metabolismo de carboidratos estruturais. In: BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. (ed.). *Nutrição de ruminantes*. Jaboticabal: Funep, 2006. cap. 6.

National Research Council – NRC. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7. rev. ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 2001. 381 p. DOI: 10.17226/25806. Disponível em:

<https://nap.nationalacademies.org/catalog/25806/nutrient-requirements-of-dairy-cattle-eighth-revised-edition>. Acesso em: 15 jun. 2025.

Oliveira, C. A. et al. Levantamento sobre as recomendações nutricionais e práticas de manejo adotadas por nutricionistas de bovinos confinados no Brasil: informações sobre grãos, fontes e níveis de gordura e proteína. In: Simpósio de Ciências da UNESP Dracena, 2011. Disponível em: https://www.dracena.unesp.br/Home/Eventos/SICUD192/Levantamento_sobre_as_recomendacoes_nutricionais_Informacoes_sobre_graos.pdf. Acesso em: 15 jun. 2025.

Owens, F. N. et al. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: a review. *Journal of Animal Science*, Champaign, IL, v. 75, n. 3, p. 868, 1997. DOI: 10.2527/1997.753868x. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9078507/>. Acesso em: 15 jun. 2025.

Owens, F. N.; Zinn, R. A.; Kim, Y. K. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *Journal of Animal Science*, Champaign, IL, v. 63, n. 5, p. 1634–1648, 1 nov. 1986. DOI: 10.2527/jas1986.6351634x. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3539905/>. Acesso em: 15 jun. 2025.

Paes, M. C. D. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. (Circular Técnica, 75). 6 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/489376>. Acesso em: 15 jun. 2025.

Pathak, A. K. Various factors affecting microbial protein synthesis in the rumen. *Veterinary World*, Haryana, v. 1, n. 1, p. 186–189, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/49608015_Various_factors_affecting_microbial_protein_synthesis_in_the_rumen. Acesso em: 15 jun. 2025.

Paulino, P. V. R. et al. Dietas sem forragem para terminação de animais ruminantes. *Revista Científica de Produção Animal*, Salvador, v. 15, n. 2, p. 161–172, 31 dez. 2013. DOI: 10.15528/2176-4158/rcpa.v15n2p161-172. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/270485688_Dietas_Sem_Forragem_para_Terminacao_de_Animais_Ruminantes. Acesso em: 15 jun. 2025.

Pereira, M. N. Dureza do grão de milho: um tópico brasileiro. Simpósio internacional em formulação de dietas para gado. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2014. Disponível em: https://dairyfocus.illinois.edu/files/2014_Formuleite.pdf#page=8. Acesso em: 15 jun. 2025.

Pinedo, L. A.; Berenchtein, B.; Selem, A. S. M. A. S. Estudo dos processos bioquímicos da fermentação, degradação e absorção de nutrientes dos alimentos em ruminantes. *Pubvet*, Maringá, v. 2, n. 11, p. 1–10, nov. 2008. DOI: 10.31533/pubvet.v02n11a431. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/358625380_Estudo_dos_processos_bioquimicos_da_fermentacao_degradacao_e_absorcao_de_nutrientes_dos_alimentos_em_ruminantes. Acesso em: 15 jun. 2025.

Rocha Júnior V. R. et al. Estimativa do valor energético dos alimentos e validação das equações propostas pelo NRC (2001). *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 480–490, abr. 2003. DOI: 10.1590/S1516-35982003000200029. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/mK5R9gVssWznQNrFHDB9XQH/>. Acesso em: 15 jun. 2025.

Rodrigues, B. S., Ruas, J. T. M., Mendes, L. R., Vieira, E. M., Coutinho, J. de S., Pires Neto, O. de S., Moura, M. M. A., Costa, R. F., Pires, D. A. de A., Gonçalves, W. da C., Santos, L. C. S., Lafetá Neto, O. V., Fernandes, Álvaro H. L., Soares, R. B., Vieira, E. M., & Silva, M. P. da. (2024).

Confinamento de bovinos na dieta puro grão. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 7(3), e73260. <https://doi.org/10.34188/bjaerv7n3-122>

Silva, B. C. da et al. Consumo e digestibilidade aparente total dos nutrientes e ganho de peso de bovinos de corte alimentados com silagem de *Brachiaria brizantha* e concentrado em diferentes proporções. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 34, n. 3, p. 1060–1069, jun. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/3DB6GWGf3QJtbZkrJytG7jk/?lang=pt>. Acesso em: 15 jun. 2025.

Simas, J. M. C. et al. Efeitos de fontes e formas de processamento do amido na utilização de nutrientes e parâmetros ruminais de vacas em lactação. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, Belo Horizonte, v. 60, n. 5, p. 1128–1134, out. 2008. DOI: 10.1590/S0102-09352008000500014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/250044668_Efeitos_de_fontes_e_formas_de_processamento_do_amido_na_utilizacao_de_nutrientes_e_parametros_ruminais_de_vacas_em_lactacao. Acesso em: 15 jun. 2025.

Theurer, C. B. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *Journal of Animal Science*, Champaign, IL, v. 63, n. 5, p. 1649–1662, 1 nov. 1986. DOI: 10.2527/jas1986.6351649x. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3539906/>. Acesso em: 15 jun. 2025.

Van Soest, P. J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994.