

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

LAURA DANIELLE FERREIRA SILVA

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA FDN FISICAMENTE AJUSTADO EM VACAS EM
LACTAÇÃO PRIMÍPARAS E MULTÍPARAS**

UBERLÂNDIA 2026

LAURA DANIELLE FERREIRA SILVA

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA FDN FISICAMENTE AJUSTADO EM VACAS EM
LACTAÇÃO PRIMÍPARAS E MULTÍPARAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à coordenação da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), como requisito à aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II.

Orientador: Profa. Dra. Simone Pedro da Silva

UBERLÂNDIA 2026

LAURA DANIELLE FERREIRA SILVA

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA FDN FISICAMENTE AJUSTADO EM VACAS EM
LACTAÇÃO PRIMÍPARAS E MULTÍPARAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação em Zootecnia
da Universidade Federal de Uberlândia, como
requisito para a obtenção do grau de Bacharelado
em Zootecnia.

Uberlândia, 20 de julho de 2026.
Banca Examinadora

Dra. Simone Pedro Silva
Zootecnista / Docente FMVZ - UFU

Dra. Eliane da Silva Morgado
Zootecnista / Docente FMVZ - UFU

Me. Jhonatan Gonçalves Silva
Zootecnista

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança ao longo de toda esta caminhada, guiando meus passos e permitindo que eu chegasse até aqui.

Dedico este trabalho, antes de tudo, à minha mãe, que mesmo diante das dificuldades jamais permitiu que me faltasse apoio, incentivo ou amor. Obrigada por estar ao meu lado em todos os momentos, acreditando nos meus sonhos e me dando as condições necessárias para que eu pudesse voar cada vez mais alto. Esta conquista também é sua.

Ao meu padrasto, Pedro, expresse minha profunda gratidão por todo o apoio, incentivo e ensinamentos ao longo da minha trajetória. Sua dedicação, exemplo e amor pela profissão fizeram de você uma das minhas maiores inspirações e uma importante referência na minha formação acadêmica e profissional.

Ao meu irmão, agradeço por ser uma das minhas maiores motivações. Seu carinho e admiração me inspiram diariamente a buscar ser uma pessoa e uma profissional melhor. À minha família, em especial aos meus avós, agradeço por todo o amor, apoio e confiança depositados em mim ao longo desta jornada. Cada palavra de incentivo e cada gesto de carinho foram fundamentais para que eu chegasse até este momento.

Aos meus amigos, que tornaram os desafios da graduação mais leves e os dias mais felizes, meu sincero agradecimento. Em especial à minha dupla Laís, parceira de tantos trabalhos, aprendizados e conquistas, e às minhas amigas inseparáveis Laura Helena, Marcela e Ana Cristina, que estiveram ao meu lado compartilhando alegrias, dificuldades e momentos que levarei para a vida toda.

Ao meu namorado, Bruno, agradeço por todo amor, paciência e companheirismo. Obrigada por ser meu porto seguro e minha âncora nos momentos em que o barco balançou, oferecendo apoio, compreensão e força quando mais precisei.

À minha orientadora, minha sincera gratidão pela oportunidade de aprender e crescer sob sua orientação. Obrigada pela confiança depositada em mim, pelos ensinamentos compartilhados dentro e fora da sala de aula, e por todas as experiências proporcionadas por meio do NUPERUM, que contribuíram significativamente para minha formação acadêmica e profissional.

Agradeço também, ao pessoal da fazenda do Glória, especialmente, Jiboia, Jean e Divino que tornaram o experimento possível de ser realizado.

Por fim, dedico este trabalho ao meu pai, que infelizmente não pôde acompanhar a conclusão desta etapa, mas esteve presente em seu início e foi um dos maiores incentivadores dos meus sonhos. Sua força, sua garra e seus ensinamentos permanecem vivos em mim todos os dias. Esta conquista carrega um pouco de tudo aquilo que você me ensinou e será sempre dedicada à sua memória.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e para a minha formação pessoal e profissional, o meu mais sincero agradecimento.

Muito obrigada!

RESUMO

O National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NASEM, 2021) trouxe conceito de fibra em detergente neutro fisicamente ajustada (FDNfa) para estabelecer recomendações de tamanho de partículas da dieta em função do pH ruminal e de suas interações com outros componentes da alimentação. Entretanto, esse sistema ainda necessita de validação em condições de campo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização do sistema FDNfa em vacas em lactação primíparas e múltiparas alimentadas com dieta total. Foram utilizadas 46 vacas em lactação, distribuídas em dois lotes, sendo 19 primíparas e 27 múltiparas, mantidas em sistema Compost Barn. O tempo de ruminação foi monitorado por meio de coleiras eletrônicas CowMed[®], enquanto o tempo de ruminação predito e a recomendação da porcentagem de partículas retidas na peneira de 8 mm foram estimados pelo aplicativo MUNCH, utilizando como variáveis de entrada o percentual de partículas retidas na peneira de 19 mm, os teores de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), proteína bruta (PB), amido da dieta e o peso corporal dos animais. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com medidas repetidas no tempo. As vacas múltiparas apresentaram maior tempo de ruminação que as primíparas, porém ambas as categorias permaneceram acima de 500 minutos de ruminação por dia. Os tempos de ruminação observados foram superiores aos preditos pelo sistema FDNfa, indicando divergência entre as estimativas do modelo e as respostas obtidas em condições de campo. Não houve correlação significativa entre os tempos de ruminação observados por meio das coleiras eletrônicas e aqueles preditos pelo sistema FDNfa utilizando o aplicativo MUNCH. Por outro lado, os valores de FDN fisicamente efetiva (FDNfe) mostraram-se mais coerentes com as respostas observadas nos animais. As dietas apresentaram teores de FDNfe compatíveis com a manutenção da ruminação, e as correlações observadas entre FDNfe e tempo de ruminação indicam que esse parâmetro representou de forma mais adequada a efetividade física da fibra nas condições avaliadas. O sistema FDNfa não foi capaz de prever adequadamente o comportamento de ruminação das vacas. Em contrapartida, o conceito de FDNfe apresentou maior associação com as respostas observadas, sugerindo maior aplicabilidade para a avaliação da efetividade física da fibra em dietas com maior participação de volumosos e menores concentrações de amido. Novos estudos são necessários para validar e ajustar o sistema FDNfa às condições de alimentação encontradas nos sistemas de produção de leite brasileiros.

Palavras-chave: acidose ruminal; comportamento ingestivo; fibra efetiva; saúde ruminal; tempo de ruminação; validação de modelos

ABSTRACT

The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NASEM, 2021) introduced the concept of physically adjusted neutral detergent fiber (paNDF) to establish recommendations for dietary particle size based on ruminal pH and its interactions with other dietary components. However, this system still requires validation under field conditions. This study aimed to evaluate the application of the paNDF system in primiparous, and multiparous lactating dairy cows fed a total mixed ration. A total of 46 lactating cows were used, including 19 primiparous and 27 multiparous animals, housed in a Compost Barn system. Rumination time was monitored using CowMed® electronic collars, whereas predicted rumination time and the recommended percentage of particles retained on the 8-mm sieve were estimated using the MUNCH application based on the percentage of particles retained on the 19-mm sieve, neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), crude protein (CP), dietary starch content, and body weight. The experiment was conducted in a completely randomized design with repeated measures over time. Multiparous cows showed longer rumination time than primiparous cows; however, both groups remained above 500 minutes of rumination per day. Observed rumination times were greater than those predicted by the paNDF system, indicating discrepancies between model estimates and field responses. No significant correlation was found between rumination time recorded by the electronic collars and that predicted by the paNDF system using the MUNCH application. In contrast, physically effective neutral detergent fiber (peNDF) values were more consistent with the responses observed in the animals. Diets presented peNDF levels compatible with adequate rumination, and the correlations observed between peNDF and rumination time indicated that this parameter more accurately represented the physical effectiveness of fiber under the evaluated conditions. The paNDF system could not adequately predict the rumination behavior of dairy cows. Conversely, the peNDF concept showed a stronger association with the observed responses, suggesting greater applicability for evaluating the physical effectiveness of fiber in diets with a higher proportion of forage and lower starch concentrations. Further studies are required to validate and adjust the paNDF system to the feeding conditions commonly found in Brazilian dairy production systems.

Keywords: ruminal acidosis; ingestive behavior; physically effective fiber; rumen health; rumination time; model validation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação esquemática do rúmen-retículo destacando o <i>mat</i> ruminal e os <i>pools</i> de partículas escapáveis e não escapáveis	15
Figura 2 Inputs utilizados pelo App MUNCH para prever o tempo em ruminação	24
Figura 3. Dieta total fornecida aos animais após a ordenha	31
Figura 4. Vagão misturador vertical Casale Vertmix Piccola	32
Figura 5. Amostras coletadas da dieta	32
Figura 6. Perfil físico da dieta após peneiramento na Penn State Separator.....	34
Figura 7. Vacas utilizando coleira de monitoramento CowMed® (A) e informações de tempo de ruminação, atividade, ócio e ofegação obtidas na tela do software CowMed® (B).	34
Figura 8. Tela inicial do aplicativo MUNCH com informações de composição da dieta fornecida (características químicas e físicas) e do animal (peso corporal).	35
Figura 9. Coeficientes de Correlação de Pearson entre as variáveis de comportamento ingestivo e preditas pelo sistema FDNfa	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Recomendações de teores mínimos de forragem e FDN total e concentração máxima de amido para vacas em lactação quando a dieta é fornecida na forma de TMR, a forragem tem Tamanho de Partícula adequado, e o Milho Moído Seco é a fonte predominante de Amido	20
Tabela 2. Estimativas de Matéria seca da dieta mínima na peneira de 8mm da SPPS, com variação na MS retida na peneira de 19mm, estimada para manter o pH ruminal médio > 6.0 ou >6.1 para vacas em lactação alimentadas com TMR variando em composição.....	23
Tabela 3. Parâmetros utilizados no desenvolvimento do sistema FDNfa	26
Tabela 4. Ingredientes utilizados na dieta total, expresso em quilos de matéria seca por dia	31
Tabela 5. Informações da dieta e dos animais utilizados como <i>inputs</i> no aplicativo Munch.	35
Tabela 6. Tempo em ruminação, atividade, ócio e ofegação (minutos por dia) e número de refeições obtidos nas coleiras de monitoramento eletrônico da Cowmed.....	37
Tabela 7. Tempo em ruminação predito (minutos por dia) e recomendação de TP 8 mm (%MS) da dieta total pelo sistema FDNfa utilizando o App Munch e valores de TP 8mm (%MS) fornecido e consumido pelas vacas em lactação (primíparas e multíparas).. . .	39
Tabela 8. Predições do sistema FDNfa conforme alterações nos parâmetros da dieta (TP>19 mm, teores de FDN e amido)	40
Tabela 9. Categoria dos valores do coeficiente de correlação segundo Jacques Callegari.....	44
Tabela 10. Teores de FDN fisicamente efetivo (FDNfe) ofertado e consumido pelas vacas em lactação (primíparas e multíparas).....	45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVO	12
3. HIPÓTESE.....	12
4. REVISÃO DE LITERATURA	12
4.1 Utilização de dieta total para vacas em lactação (TMR)	12
4.2 A importância da fibra na dieta de ruminantes e sua limitação na análise física	14
4.3 Fibra fisicamente efetiva (FDNfe): definição, estimativa e limitações	17
4.4 Evolução para o FDN fisicamente ajustado (FDNfa): proposta do NASEM 2021	19
4.5 Aplicação do sistema FDNfa: uso do aplicativo MUNCH	24
4.6 Relevância da correlação entre FDNfa e tempo de ruminação	27
4.7 Monitoramento eletrônico do comportamento ingestivo em vacas leiteiras.....	29
5. METODOLOGIA.....	30
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
7. CONCLUSÃO.....	46
8. REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

A bovinocultura leiteira representa uma das principais atividades agropecuárias no Brasil, tanto pela sua importância econômica, quanto pelo papel social na oferta de alimento. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a captação formal de leite no Brasil no primeiro trimestre de 2025 totalizou cerca de 6,49 bilhões de litros, representando aumento de 3,35% em relação ao mesmo período de 2024 (IBGE, 2025). Adicionalmente, o Anuário do Leite 2025 divulgado pela Embrapa indica que a produção total de leite no Brasil em 2024 foi de aproximadamente 25,38 bilhões de litros, reforçando a importância econômica e social da atividade leiteira no cenário agropecuário nacional. Esses dados evidenciam o contínuo crescimento da produção e captação de leite, ressaltando a necessidade de práticas nutricionais e de manejo que promovam eficiência produtiva e bem-estar animal.

A crescente demanda por eficiência nos sistemas produtivos exige avanços em manejo, genética e, sobretudo na nutrição. Nos últimos anos, os sistemas de produção de bovinos de leite têm aumentado sua tecnificação, sendo o aumento do uso do concentrado nas dietas, umas das práticas mais utilizadas. A composição da dieta, especialmente o equilíbrio entre concentrados e forragens, interfere diretamente na saúde ruminal, produtividade e qualidade do leite (NASEM, 2021). Assim, o fornecimento adequado de fibra é fundamental para garantir a estabilidade do ambiente ruminal e prevenir distúrbios metabólicos.

A fibra da dieta para ruminantes pode ser quantificada quimicamente por meio da análise da fração da fibra em detergente neutro (FDN), que representa componentes estruturais da parede celular das células vegetais resistentes à digestão. A fibra influencia diretamente a proporção de ácidos graxos de cadeia curta produzidos no rúmen, os quais representam a principal fonte de energia para os ruminantes (VAN SOEST, 1994). Além disso, o fornecimento adequado de fibra promove produção de saliva e mantém a motilidade ruminal por meio da estimulação da mastigação e da ruminação. Para representar a fração da fibra que exerce esse estímulo físico, foi proposto o conceito de fibra fisicamente efetiva (FDNfe), definida como a porção da FDN capaz de promover a mastigação e contribuir para a estrutura física da digesta no rúmen (MERTENS, 1997). As características físicas da fibra, como o tamanho das partículas, favorecem a formação do *mat* ruminal, uma estrutura que atua como filtro, retendo partículas maiores e aumentando o tempo de permanência da digesta no rúmen. Além da abrasividade, o volume de material fibroso exerce estimulação tátil nos mecanorreceptores da mucosa do retículo-rúmen, desencadeando o reflexo da

ruminação. Esse processo é fundamental para a homeostase do ecossistema ruminal, aumentando a degradação da fibra e promovendo a estabilidade do pH via aporte de substâncias tamponantes originárias da saliva (MERTENS, 1997).

Nesse sentido, monitorar a interação entre o comportamento ingestivo, especialmente o tempo de ruminação, e a composição da fibra da dieta é fundamental para garantir estabilidade do ambiente ruminal e desempenho produtivo dos animais. Entretanto, os sistemas tradicionais baseados apenas na FDN total ou na FDN fisicamente efetiva (FDNfe) apresentam limitações importantes. O conceito de FDNfe proposto por Mertens (1997) considera que todas as partículas acima de 1,18 mm possuem capacidade semelhante de estimular a mastigação e a ruminação, desconsiderando diferenças relacionadas à digestibilidade da fibra, fragilidade das partículas e dinâmica fermentativa da dieta. Dessa forma, dietas com valores semelhantes de FDNfe podem promover respostas ruminais distintas, especialmente em sistemas com elevada inclusão de concentrados. Diferentemente do conceito de FDNfe, que foca primordialmente no tamanho físico das partículas, modelos mais recentes buscam integrar a dinâmica de fermentação nutricional, considerando simultaneamente fatores como digestibilidade da fibra, teor de amido, proporção de concentrado, taxa de fermentação e interações entre nutrientes (ZEBELI et al., 2012; NASEM, 2021).

Nesse contexto, o NASEM (2021) representa a atualização mais recente no sistema de recomendação para formulação de dietas para vacas leiteiras, aprimorando as equações do NRC com base em novas pesquisas. Para as características químicas da fibra, o sistema recomenda níveis mínimos de fibra na dieta com base nas concentrações de FDN, FDN de forragem (FDNf) e teores de amido. Já em relação às características físicas da fibra, o NASEM propõe o uso do conceito da fibra fisicamente ajustada (FDNfa) como forma de estimar o impacto do tamanho de partícula da dieta sobre o pH ruminal, em conjunto com outros fatores da dieta, como teores de amido, FDN, FDNf, porcentagem de forragem e tamanho de partícula retida na peneira de 19 mm. Esse modelo visa aprimorar as previsões relacionadas à saúde ruminal e comportamento ingestivo, especialmente a ruminação. Apesar de promissor, o sistema de FDNfa ainda não foi amplamente validado em condições de campo.

Nesse sentido, pesquisadores da Universidade de Nebraska desenvolveram o aplicativo MUNCH, uma ferramenta baseada em modelos matemáticos propostos por White et al. (2017), com o objetivo de tornar o conceito de FDNfa aplicável em condições práticas. O aplicativo estima o tempo de ruminação e propõe a porcentagem da dieta que deve estar

no tamanho de partícula de 8 mm para manter o ambiente ruminal adequado, a partir das variáveis químicas da dieta, como teores de FDN, FDA, proteína bruta, amido, além de considerar a porcentagem de partículas retidas nas peneira de 19 mm utilizando o conjunto de peneiras Penn State. Essa tecnologia permite aplicar o modelo FDNfa de maneira prática em sistemas comerciais, promovendo ajustes nutricionais mais precisos baseados no comportamento ingestivo dos animais.

Nesse sentido, verifica-se a necessidade de estudos para avaliar se o sistema FDNfa é adequado para estimar o tempo em ruminação e o risco de acidose em campo, considerando as dietas utilizadas em ambientes tropicais, contribuindo dessa forma para a validação do modelo em condições reais de produção, para o aprimoramento das recomendações nutricionais voltadas à saúde ruminal, desempenho e bem-estar animal.

2. OBJETIVO

Avaliar a utilização do sistema FDN fisicamente ajustada, utilizando o aplicativo MUNCH, na dieta de vacas em lactação primíparas e múltiparas alimentadas com dieta total.

3. HIPÓTESE

O sistema de fibra em detergente neutro fisicamente ajustada (FDNfa), através do aplicativo MUNCH, prevê adequadamente o tempo de ruminação e o risco de acidose em vacas leiteiras primíparas e múltiparas.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Utilização da dieta total (total mixed ration - TMR) para vacas em lactação.

Na bovinocultura de leite, o uso da dieta total, conhecida como Total Mixed Ration (TMR), é uma estratégia alimentar consolidada para vacas em lactação. Esse sistema consiste na combinação de todos os ingredientes da dieta, incluindo volumosos, como silagens, fenos, forragens frescas, e concentrados compostos por fontes energéticas, proteicas, minerais, vitaminas e aditivos, em uma única mistura homogênea. O objetivo dessa estratégia é que cada bocado consumido pelo animal apresente composição nutricional semelhante à formulação originalmente planejada. Para isso, a TMR é preparada em vagões misturadores que permitem a correta incorporação dos ingredientes e a adequada distribuição das partículas, garantindo uniformidade na dieta oferecida ao longo de todo o cocho. A

formulação dessas dietas é baseada nas exigências nutricionais das vacas em lactação e considera fatores como produção de leite, estágio de lactação, peso corporal e consumo de matéria seca, de forma a fornecer níveis adequados de energia, proteína, fibra e minerais (NASEM, 2021, p. 343).

A principal vantagem do uso da TMR consiste em promover o sinergismo na ingestão de nutrientes, garantindo proporções equilibradas de carboidratos degradáveis e compostos nitrogenados. Dessa forma, a TMR favorece a sincronia entre a disponibilidade de energia (esqueletos de carbono) e nitrogênio para a microbiota ruminal, condição fundamental para maximizar a eficiência de síntese de proteína microbiana e reduzir perdas de nitrogênio na forma de amônia ruminal (HOOVER; STOKES, 1991). Esse equilíbrio contribui para maior estabilidade do pH ruminal, melhor fermentação microbiana e menor ocorrência de distúrbios digestivos relacionados a variações abruptas na composição da dieta, promovendo ainda maior eficiência no aproveitamento da energia e proteína pela microbiota ruminal (FEEDSTRATEGY, 2024).

Estudos demonstram que o fornecimento de dietas na forma de TMR resulta em maior ingestão de matéria seca e maior produção de leite quando comparado ao fornecimento separado do concentrado. Donker et al. (2002) observaram aumento significativo na produção de leite e maior estabilidade dos componentes do leite em vacas alimentadas com TMR. Revisões de literatura reforçam que a adoção da TMR promove maior uniformidade no consumo individual, melhora a eficiência fermentativa ruminal e reduz a ocorrência de distúrbios metabólicos, refletindo positivamente no desempenho produtivo e saúde ruminal dos animais (ALLEN, 1997; MERTENS, 1997; ZEBELI et al., 2012).

Embora a dieta total misturada (TMR) seja formulada para garantir homogeneidade no consumo de nutrientes, os bovinos leiteiros apresentam uma capacidade natural de seleção alimentar, conhecida como *sorting behavior*. Esse comportamento caracteriza-se pela ingestão seletiva de determinadas frações da dieta, podendo ocorrer preferência tanto por partículas menores e mais densas, geralmente ricas em concentrado, quanto por partículas fibrosas mais longas, dependendo das características da dieta ofertada e das condições do ambiente ruminal (MILLER-CUSHON; DEVRIES, 2017). Em dietas com maior potencial de acidificação do rúmen, por exemplo, as vacas podem aumentar a seleção de partículas fibrosas como resposta comportamental para estimular a mastigação, a produção de saliva e contribuir para a estabilização do pH ruminal. Como consequência, a composição da dieta efetivamente consumida pode diferir significativamente da dieta originalmente formulada, alterando o consumo real de fibra fisicamente efetiva. Essa alteração compromete

diretamente o estímulo mastigatório e o tempo de ruminação dos animais, podendo resultar em valores diferentes dos preditos por modelos matemáticos, como o aplicativo MUNCH, que assumem consumo homogêneo da dieta (WHITE et al., 2017a; WHITE et al., 2017b).

A eficácia do sistema TMR depende não apenas da formulação nutricional adequada, mas também da qualidade da mistura, incluindo a precisão na pesagem dos ingredientes, o uso correto de vagões misturadores e a manutenção da homogeneidade da dieta ao longo de todo o cocho. Misturas inadequadas podem favorecer a estratificação de partículas e aumentar a seleção alimentar, intensificando a variação no consumo individual e comprometendo parâmetros ruminais e produtivos. Além disso, a inclusão adequada de fibra fisicamente efetiva (FDNfe) na TMR é essencial para estimular a mastigação e a ruminação, favorecer a formação do bolo alimentar e manter a motilidade ruminal, impactando diretamente a eficiência fermentativa, a saúde ruminal e a produção de leite (MERTENS, 1997; NASEM, 2021).

No entanto, a correta formulação e manejo dessa dieta exige atenção especial à inclusão da fibra e à sua efetividade física, uma vez que a inadequada granulometria ou mistura pode comprometer a saúde ruminal, favorecendo distúrbios como a acidose subclínica. Além disso, a implementação da TMR demanda estrutura adequada, equipamentos específicos e conhecimento técnico, fatores que ainda são limitantes para pequenos e médios produtores. Dessa forma, entender como a fibra se comporta dentro dessas dietas torna-se essencial para garantir os benefícios esperados com seu uso.

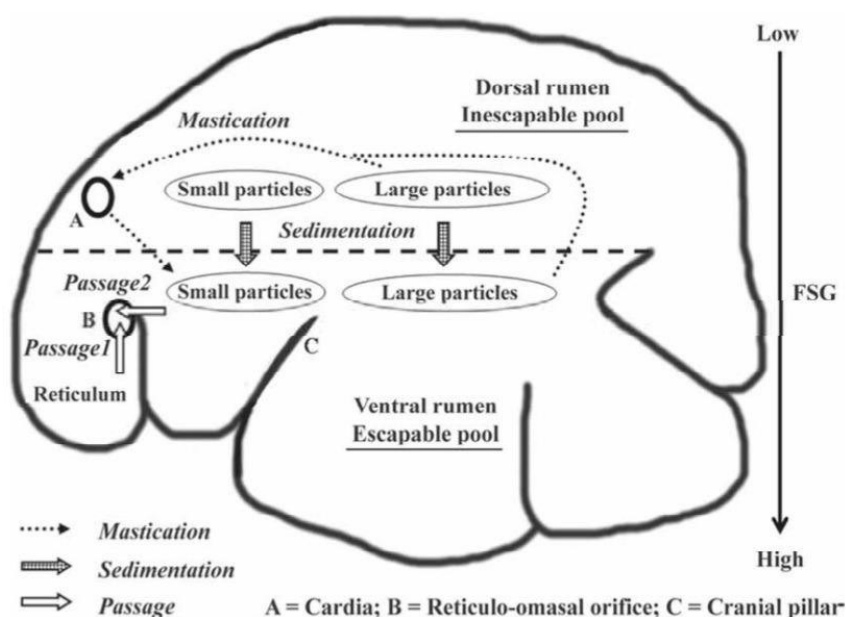
4.2. A importância da fibra na dieta de ruminantes e sua limitação na análise física.

A fibra na nutrição de ruminantes pode ser definida, segundo Mertens (1997), como a fração do alimento lentamente digestível ou indigestível que ocupa espaço no trato gastrointestinal exercendo influência direta sobre o consumo de matéria seca, taxa de passagem e função ruminal. Diferentemente dos carboidratos rapidamente fermentáveis, a fibra apresenta degradação lenta, maior capacidade de enchimento ruminal, desempenhando papel estrutural e regulador sobre a ingestão.

No rúmen, a fibra estimula a mastigação e a produção de saliva, promovendo a ruminação e contribuindo para a motilidade ruminal. Esse estímulo físico favorece a formação do *mat* ruminal, camada composta por partículas maiores e menos densas que permanecem retidas na região dorsal do rúmen. Essa estrutura atua como um filtro físico, retraindo partículas grandes e permitindo partículas menores e de maior peso passem para os compartimentos posteriores do trato digestivo (VAN SOEST, 1994; MERTENS, 1997).

A dinâmica de retenção seletiva das partículas pode ser compreendida por meio da organização do conteúdo ruminal em diferentes *pools* funcionais, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1. Representação esquemática do rúmen-retículo destacando o *mat* ruminal e os *pools* de partículas escapáveis e não escapáveis



Fonte: Seo et al. (2009)

Conforme ilustrado na Figura 1, o conteúdo ruminal organiza-se em compartimentos funcionais, nos quais as partículas maiores e menos densas permanecem retidas no *mat* ruminal, e compõe o *pool* de partículas não escapáveis, enquanto partículas menores e mais densas o *pool* de partículas escapáveis. Esse mecanismo físico influencia diretamente o tempo de permanência da digesta no rúmen, a digestibilidade da fibra e a estabilidade do pH ruminal.

O termo fibra deve ser considerado apenas nutricional e está vinculado ao método laboratorial utilizado para sua determinação (MERTENS, 2002). Inicialmente, a avaliação da fibra na nutrição animal baseava-se na determinação da fibra bruta (FB), método que apresenta limitações por não representar adequadamente a fração da parede celular vegetal, nem sua real digestibilidade. O método de fibra bruta baseia-se na digestão sequencial do alimento com ácido e bases fracas, resultando em perdas significativas de componentes estruturais da parede celular. No qual, na etapa ácida ocorre a solubilização parcial da

hemicelulose, enquanto na etapa alcalina há solubilização de parte da lignina, além de frações de celulose mais facilmente degradáveis. Como consequência, o resíduo final obtido como “fibra bruta” torna-se subestimado, não refletindo corretamente o conteúdo total da fibra estrutural do alimento, tampouco sua real importância nutricional para ruminantes (VAN SOEST, 1994). Essa subestimação é particularmente problemática para ruminantes, pois compromete a avaliação da fração responsável pela estimulação da mastigação, ruminação e produção de saliva, além de dificultar a correta predição da ingestão de matéria seca e da dinâmica ruminal. Dessa forma, o desenvolvimento do sistema de detergentes proposto por Van Soest (1963) e por Van Soest e Wine (1967) revolucionou a análise de alimentos, a fibra bruta mostrou-se inadequada para descrever o valor nutricional dos alimentos fibrosos e sua real contribuição para a saúde e eficiência do ambiente ruminal.

O sistema de detergentes proposto por Van Soest permitiu a quantificação da fibra em detergente neutro (FDN), representando de forma mais precisa os constituintes da parede celular vegetal, como celulose, hemicelulose e lignina. A partir desse avanço, a FDN passou a ser amplamente utilizada como parâmetro para avaliação da fibra em ruminantes. Embora a FDN represente adequadamente a fração química da fibra, essa análise não contempla os aspectos físicos da dieta, especialmente aqueles relacionados ao estímulo da mastigação, ruminação e da retenção das partículas no rúmen. Assim, surgiram diferentes conceitos com o objetivo de descrever a funcionalidade da fibra para além da sua composição química.

Entre esses conceitos destacam-se a fibra em detergente neutro efetiva (FDNe), a fibra em detergente neutro fisicamente efetiva (FDNfe) e, mais recentemente, a fibra em detergente neutro fisicamente ajustada (FDNfa), termos que, embora relacionados, possuem fundamentos distintos, que serão abordados nos tópicos a seguir. Fibra em detergente neutro efetiva (FDNe): conceito e importância.

A fibra em detergente neutro efetiva (FDNe) foi proposta por David Mertens como um conceito biológico destinado a representar a quantidade de fibra necessária para manter a função ruminal adequada. Diferentemente de indicadores baseados exclusivamente na composição química da dieta, a FDNe foi definida como a quantidade de fibra capaz de sustentar níveis adequados de atividade mastigatória e de gordura do leite, utilizando esta última como um indicador indireto da estabilidade do ambiente ruminal (MERTENS, 1997). Dessa forma, a efetividade da fibra era inferida a partir da resposta fisiológica do animal, considerando parâmetros como fermentação ruminal, mastigação e composição do leite, e não por características físicas específicas da dieta.

Embora esse conceito tenha representado um importante avanço na compreensão da função da fibra para ruminantes, sua aplicação prática era limitada pela dificuldade de mensuração direta em condições de campo, uma vez que dependia da avaliação de respostas biológicas dos animais (MERTENS, 1997). Essas limitações estimularam o desenvolvimento de métodos operacionais capazes de estimar a efetividade física da fibra de forma mais objetiva, culminando na proposição do conceito de fibra em detergente neutro fisicamente efetiva (FDNfe).

4.3. Fibra fisicamente efetiva (FDNfe): definição, estimativa e limitações.

O conceito de fibra em detergente neutro fisicamente efetiva (FDNfe), proposto por Mertens (1997), surgiu como uma tentativa de traduzir, de forma prática, o efeito físico da fibra sobre a função ruminal. Diferentemente da FDN efetiva (FDNe), que se baseia na resposta biológica do animal, a FDNfe foi concebida como uma medida operacional da capacidade da fibra em estimular a mastigação e a ruminação, contribuindo para a produção de saliva e manutenção do pH ruminal.

FDNfe é definida como a fração da FDN que, em função de suas características físicas, exerce estímulo mecânico suficiente para promover a formação do *mat* ruminal e prolongar o tempo de retenção das partículas no rúmen (MERTENS, 1997). Esse estímulo está diretamente relacionado ao tamanho das partículas da dieta.

A estimativa da FDNfe baseia-se na seguinte relação:

$$\text{FDNfe} = \% \text{FDN} \times \text{Fator de efetividade física}$$

Nesse sistema desenvolvido por Mertens (1997) a avaliação do fator de efetividade (*pef*) foi realizada em amostras secas em estufa e com agitação vertical em um conjunto de peneiras de laboratório, no qual se verificou que as partículas retidas acima da peneira de 1,18 mm favoreciam a mastigação. Portanto, o teor de FDNfe passou a ser calculado através da multiplicação do teor de FDN da amostra pela proporção de partículas acima de 1,18 mm. No entanto, o tamanho de 1,18 mm foi utilizado com base no trabalho de Poppi et al. (1980) com ovinos, sendo que para bovinos esse tamanho não é o mais adequado. Ademais, esse método parte dos pressupostos que todas as partículas retidas nas diferentes peneiras apresentam o mesmo teor de FDN, que todas as partículas acima de 1,18 mm apresentam a mesma capacidade de estimular a ruminação, que as diferentes fontes de FDN possuem a mesma fragilidade, entendida como a facilidade com que as partículas se fragmentam

durante a mastigação e a ruminação. (FILHO,2022; MERTENS 1997).

O fator de efetividade física (*pef*) corresponde à proporção da matéria seca retida acima de determinado tamanho de partícula, obtido por meio de peneiramento. O método que passou a ser utilizado no campo foi o Penn State Particle Separator (HEINRICHS; KONONOFF, 2002). Inicialmente, Mertens (1997) sugeriu o limite de 1,18 mm como ponto de corte para retenção ruminal. Posteriormente, estudos indicaram que peneiras de maior diâmetro, como 4 mm e 8 mm, poderiam representar de forma mais consistente a fração com real impacto sobre a ruminação e a retenção no retículo-rúmen.

Diversos estudos investigaram a relação entre FDNfe, pH ruminal e risco de acidose subclínica. Zebeli et al. (2012) observaram que concentrações de FDN fisicamente efetiva variando entre 14,9% e 18,5% da matéria seca da dieta estiveram associadas à manutenção do pH ruminal adequado em vacas leiteiras de alta produção. Esses valores, contudo, são derivados de condições experimentais específicas e não constituem recomendações oficiais do NASEM (2021), que não estabelece valores mínimos para FDNfe em seu sistema mais recente.

Apesar de sua utilidade prática, a FDNfe apresenta limitações importantes. Primeiramente, o conceito assume que partículas acima de determinado diâmetro possuem efeito físico semelhante, desconsiderando variações na densidade, fragilidade e taxa de hidratação das partículas. Além disso, a distribuição da FDN nem sempre é uniforme entre as frações granulométricas da dieta, podendo ocorrer superestimação ou subestimação da efetividade física em dietas com elevada heterogeneidade entre forragem e concentrado (ZEBELI et al., 2012).

Outro ponto crítico refere-se ao fato de que a FDNfe considera predominantemente o tamanho de partícula como determinante do estímulo físico, não incorporando de forma integrada variáveis como o teor e a fermentabilidade do amido, a ingestão de matéria seca ou o nível produtivo do animal. Assim, embora represente um avanço significativo em relação à avaliação exclusivamente química da fibra, a FDNfe ainda não contempla plenamente a complexidade das interações dietéticas que influenciam a dinâmica ruminal (ZEBELI et al., 2012).

Essas evidências demonstram que a efetividade da fibra não depende exclusivamente de sua concentração química ou do tamanho das partículas, mas da interação entre características físicas da dieta, sua composição química e a resposta ingestiva dos animais. Dessa forma, tornou-se evidente a necessidade de modelos capazes de integrar esses diferentes fatores na avaliação da efetividade da fibra (WHITE et al., 2017a).

Essas limitações estimularam o desenvolvimento de modelos mais abrangentes, capazes de integrar simultaneamente características químicas, físicas e comportamentais da dieta. Nesse contexto, foi proposto o sistema de Fibra em Detergente Neutro fisicamente ajustada (FDNfa), que busca superar as restrições conceituais da FDNfe por meio de uma abordagem preditiva e multifatorial, no entanto é um sistema que ainda precisa ser amplamente validado em campo (WHITE et al., 2017a).

4.4. Evolução para o FDN fisicamente ajustado (FDNfa): proposta NASEM 2021.

As recomendações nutricionais estabelecidas pelo NRC (2001) representaram um marco importante na consolidação das necessidades de níveis mínimos de FDN oriunda de forragem (FDNf) para a manutenção da saúde ruminal e da gordura do leite. Contudo, essas recomendações baseavam-se predominantemente na concentração desses componentes da dieta, sem integrar, de forma simultânea, fatores relacionados a sua estrutura física e ao potencial fermentativo dos carboidratos. Essa limitação impulsionou o desenvolvimento de abordagens mais abrangentes, culminando na proposta de fibra em detergente neutro fisicamente ajustada (FDNfa) apresentada pelo NASEM (2021).

Com o avanço da pesquisa em nutrição de vacas leiteiras de alta produção, tornou-se evidente que dietas com concentrações semelhantes de FDN ou FDNfe podiam gerar respostas ruminais distintas, especialmente quando diferiam quanto ao teor e à taxa de fermentação do amido. A intensificação dos sistemas produtivos, com maior inclusão de concentrado, evidenciou que apenas a concentração de FDN ou a granulometria não eram suficientes para garantir a estabilidade ruminal.

Nesse contexto, o NASEM (2021) passou a recomendar que a formulação de dietas para vacas em lactação considere a relação entre os níveis de FDN oriunda de forragem (FDNf) e a concentração de amido da dieta. À medida que o teor de amido aumenta, torna-se necessário elevar a participação de fibra proveniente de forragem para garantir estímulo mastigatório adequado e manutenção do pH ruminal (Tabela 1). Dessa forma, dietas com maior inclusão de concentrado devem apresentar maiores proporções de FDN de forragem, refletindo a necessidade de equilibrar o potencial acidogênico da fermentação do amido com a capacidade tamponante promovida pela mastigação e produção de saliva (NASEM, 2021).

Tabela 1. Recomendações de teores mínimos de FDN de forragem (FDNf) e FDN total e concentração máxima de amido para vacas em lactação quando a dieta é fornecida na forma de dieta total, a forragem tem Tamanho de Partícula adequado, e o Milho Moído Seco é a fonte predominante de Amido.

FDNf Mín.	FDN Total Mín.	Amido Máx.
19	25	30
18	27	28
17	29	26
16	31	24
15	33	22

Fonte: NASEM (2021)- Exigências Nutricionais de Bovinos Leiteiros.

A elevação do teor de amido na dieta aumenta a produção de ácidos graxos de cadeia curta e reduz o pH ruminal, exigindo maior estímulo mastigatório para manutenção da homeostase ruminal. Conforme apresentado na Tabela 1, o NASEM (2021) estabelece uma relação direta entre os níveis de FDN oriunda de forragem, FDN total e concentração de amido na dieta. Assim, para cada redução de 1 unidade percentual no FDNf, quando abaixo de 19% da matéria seca da dieta, recomenda-se o aumento de 2 unidades percentuais na FDN total, acompanhado da redução de 2 unidades percentuais no teor máximo de amido da dieta. Essa relação evidencia que dietas com maior inclusão de concentrados e maior teor de amido demandam maior participação de fibra estrutural para manter adequada estimulação da mastigação, produção de saliva e estabilidade do pH ruminal. Dessa forma, a exigência de fibra não deve ser interpretada como um valor fixo, mas como um parâmetro dependente da composição global da dieta, especialmente da relação entre fibra de forragem, FDN total e teor de amido (NASEM, 2021).

Além disso, o NASEM (2021) ressalta que o sistema baseado exclusivamente na FDN fisicamente efetiva apresenta limitações metodológicas importantes. Entre elas, destaca-se o fato de que o banco de dados utilizado para desenvolvimento das relações envolvendo FDNfe não incluiu adequadamente dietas contendo fontes de fibra não forrageiras (FFNF), frequentemente utilizadas em dietas modernas de vacas leiteiras. Outro aspecto relevante é que o cálculo tradicional da FDNfe considera apenas a proporção de partículas acima de determinado tamanho multiplicada pelo teor total de FDN da dieta, o que

pode superestimar a efetividade física quando são incluídas fontes de fibra com baixa capacidade de estimular mastigação. Idealmente, seria necessário determinar o teor de FDN presente em cada fração granulométrica da dieta, especialmente nas partículas retidas nas peneiras superiores do separador de partículas, procedimento ainda pouco viável na rotina das fazendas (ZEBELI et al., 2012; NASEM, 2021).

Em função dessas limitações, o NASEM (2021) destaca que os valores de FDNfe propostos por Zebeli et al. (2012) devem ser interpretados como um intervalo ótimo associado à manutenção da estabilidade ruminal, e não como um limite mínimo rígido que possa ser aplicado universalmente a todas as dietas.

Diante dessas limitações, o NASEM (2021), na atualização apresentada no *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, propôs uma abordagem mais abrangente para avaliação da efetividade da fibra em dietas de vacas leiteiras. Entretanto, é importante destacar que as recomendações tradicionais baseadas na relação entre FDN oriunda de forragem (FDNf) e teor de amido da dieta continuam sendo a principal referência para formulação de dietas para vacas em lactação, devido à ampla base experimental que sustenta esse modelo e à sua aplicação consolidada na nutrição de ruminantes.

Nesse contexto, o NASEM (2021) passou a incorporar às suas recomendações o conceito de fibra em detergente neutro fisicamente ajustada (FDNfa), originalmente desenvolvido por White et al. (2017a; 2017b). Essa abordagem foi proposta como uma ferramenta complementar para avaliar a efetividade da fibra, considerando simultaneamente fatores relacionados à estrutura física da dieta, ao potencial fermentativo dos carboidratos e às características produtivas dos animais. Diferentemente das abordagens anteriores, esse modelo integra variáveis como ingestão de matéria seca, densidade energética da dieta, teor de amido e nível de produção de leite, fatores que influenciam diretamente a dinâmica fermentativa ruminal e o comportamento ingestivo.

Apesar de representar um avanço conceitual na tentativa de integrar múltiplos fatores relacionados à estabilidade ruminal, o próprio NASEM (2021) ressalta que o sistema baseado em FDNfa ainda possui caráter indicativo e necessita de maior validação experimental em diferentes condições de manejo, tipos de dieta e níveis produtivos. Dessa forma, o uso desse indicador deve ser interpretado como uma ferramenta complementar à formulação de dietas, e não como substituição direta das recomendações baseadas na relação entre FDN de forragem, FDN total e teor de amido.

A abordagem proposta pelo NASEM (2021) também reconhece que a efetividade da fibra depende não apenas da composição química da dieta, mas também da sua estrutura

física, especialmente do tamanho de partícula e da formação do *mat* ruminal.

Essa estrutura, formada principalmente por partículas fibrosas de maior tamanho, exerce papel fundamental na retenção ruminal, estratificação do conteúdo ruminal e na estimulação da ruminação e da salivação.

O tamanho das partículas da dieta influencia diretamente o tempo de retenção no rúmen e a taxa de passagem, fatores que afetam tanto a digestibilidade da fibra quanto a estabilidade do ambiente ruminal. Partículas maiores tendem a permanecer mais tempo no rúmen, favorecendo a formação do *mat* ruminal e estimulando a atividade mastigatória, enquanto partículas muito pequenas podem reduzir o estímulo à ruminação e aumentar a taxa de passagem do alimento.

A integração entre características físicas da dieta e seu potencial fermentativo reforça a importância de abordagens que considerem múltiplos fatores na formulação de dietas para vacas leiteiras de alta produção. Nesse sentido, indicadores relacionados à estrutura da dieta e ao comportamento ingestivo, como o tempo de ruminação, tornam-se ferramentas importantes para avaliação da adequação física das dietas fornecidas aos animais. Dessa forma, investigar a relação entre parâmetros estruturais da dieta e o comportamento ingestivo contribui para ampliar a compreensão sobre a aplicabilidade desses indicadores na predição da ruminação e da estabilidade ruminal em vacas leiteiras, contexto no qual se insere o presente estudo.

Na tabela 2 estão apresentados fatores que devem ser considerados ao utilizar o sistema FDN fisicamente ajustado com a experiência e o julgamento do nutricionista. Nessa tabela estão presentes duas colunas com manutenção do pH ruminal de 6,0 e 6,1, que representam risco de acidose maior (pH = 6,0) e risco de acidose menor e uma dieta mais segura (pH=6,1). Sendo importante salientar que ambas as metas de pH ruminal são apenas exemplos, e que o sistema FDNfa não tem como objetivo prever pH ruminal, mas sim demonstrar como a composição química e a forma física da dieta podem afetar a ruminação e o pH ruminal.

Também na tabela 2, quando na coluna do pH 6,0 se apresentar em branco, significa que não existem possíveis combinações de porcentagens de tamanho de partícula, ou seja, não existe recomendação de tamanho de partícula na peneira de 8 mm para prever pH ruminal médio de 6,0.

Tabela 2. Estimativas de Matéria seca da dieta mínima na peneira de 8 mm do Separador de partículas da Penn State, com variações na MS retida na peneira de 19 mm, estimada para manter o pH ruminal médio > 6.0 ou >6.1 para vacas em lactação alimentadas com dieta total variando em composição.

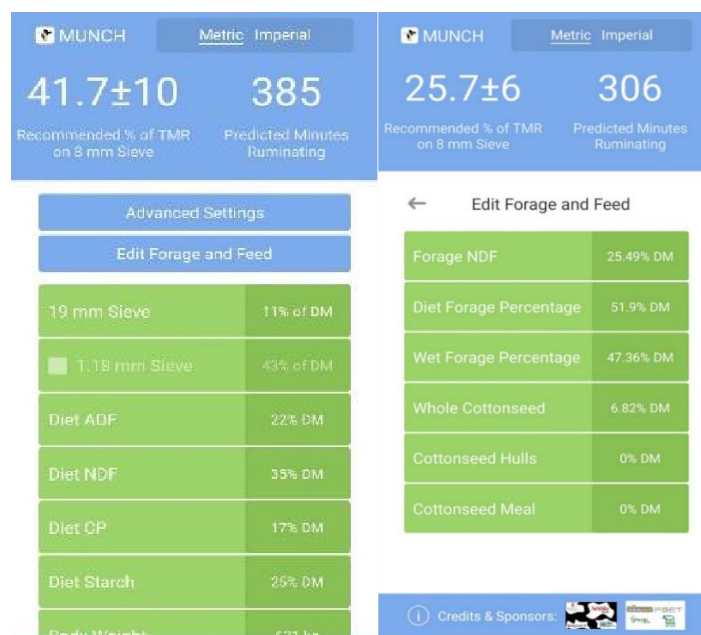
Composição da dieta total (TMR) (% MS)				Manutenção do pH 6,0 % TMR na peneira de 19 mm			Manutenção do pH 6,1% %TMR na peneira de 19 mm		
				3	9	15	3	9	15
Forragem	Amido	FDN	FDNf	% mínima na peneira de 8 mm			% mínima na peneira de 8 mm		
40	35	25	19	20	13	12	53	43	33
40	30	28	19	26	17	14	53	42	33
40	25	30	22				17	10	11
40	25	30	19	19	12	11	36	26	19
40	25	30	17	32	23	17	50	40	31
40	20	33	17	11	10	10	19	12	11
40	20	33	15	24	15	12	32	22	16
40	20	33	14	30	21	15	39	29	21
40	15	35	13				17	10	10
50	35	25	20	25	17	13	40	30	22
50	35	25	18	40	31	23	59	48	38
50	30	28	22	12	10	10	23	14	12
50	30	28	20	26	17	13	38	28	20
50	30	28	18	41	31	23	54	44	34
50	25	30	22				17	10	10
50	25	30	20				31	22	15
50	25	30	18	24	15	12	46	36	27
50	20	33	19				18	10	10
50	20	33	17				32	22	16
60	30	28	23				42	32	23
60	30	28	22				51	41	31
60	25	30	24				22	13	10
60	25	30	23				30	20	14
60	25	30	22				38	28	19
60	20	33	20				26	17	12

Fonte: Adaptado de NASEM (2021)- Exigências Nutricionais de Bovinos Leiteiros, p.68-70.

4.5. Aplicação do sistema FDNfa: uso do aplicativo MUNCH.

Com o objetivo de tornar a abordagem proposta por White et al. (2017a;2017b), posteriormente incorporada as recomendações do NASEM (2021), aplicável em propriedades leiteiras, extensionistas da Universidade de Nebraska desenvolveram o aplicativo MUNCH. Esses modelos foram construídos a partir do conceito de FDNfa, que considera a combinação de características químicas (como FDN, FDA, PB, amido) e físicas (proporção de forragem retida na peneira de 19 mm, ao utilizar o separador de partículas de Penn State) e do animal (Peso Corporal) para prever variáveis fisiológicas, como pH ruminal e tempo de ruminação (Figura 2). O MUNCH traduz essas equações em uma interface acessível, permitindo que técnicos e produtores insiram os dados da dieta e recebam recomendações sobre ajustes na formulação, com base na resposta ruminal prevista.

Figura 2. *Inputs* utilizados pelo App MUNCH para prever o tempo em ruminação e a recomendação de porcentagem mínima na peneira de 8 mm na dieta total.



Fonte: Arquivo pessoal

O sistema de fibra em detergente neutro fisicamente ajustada (FDNfa) foi originalmente desenvolvido por White et al. (2017a; 2017b) como uma evolução dos conceitos tradicionais de efetividade da fibra, com o objetivo de superar limitações observadas em métricas baseadas exclusivamente no tamanho de partícula. Os autores propuseram uma abordagem integrativa, na qual a FDN é ajustada considerando múltiplos

fatores relacionados ao comportamento ingestivo, à dinâmica ruminal e às características físicas e químicas da dieta, buscando uma representação mais precisa da capacidade da fibra em estimular a ruminação e manter a estabilidade do ambiente ruminal.

Segundo White et al. (2017a), a resposta dos animais à fibra é multifatorial e depende não apenas do tamanho das partículas, mas também da ingestão de matéria seca, da degradabilidade do amido, da densidade energética da dieta, do nível de produção dos animais e do manejo alimentar. Dessa forma, a FDNfa é expressa como um valor ajustado, capaz de prever com maior acurácia respostas fisiológicas, como tempo de ruminação e pH ruminal, quando comparada a sistemas que consideram apenas frações químicas ou físicas isoladas.

Os modelos matemáticos propostos por White et al. (2017a; 2017b) foram desenvolvidos a partir de um conjunto de dietas e características animais que serviram como base para o ajuste e validação das equações preditivas do sistema FDNfa. Essas equações incorporam simultaneamente variáveis relacionadas à composição química da dieta, à sua estrutura física e às características dos animais, permitindo estimar respostas fisiológicas, como o tempo de ruminação e a estabilidade do ambiente ruminal. Os principais parâmetros utilizados no desenvolvimento do modelo estão apresentados na Tabela 3, evidenciando as faixas de valores consideradas durante sua construção e reforçando que a aplicação do sistema é mais adequada quando as condições nutricionais avaliadas são semelhantes às utilizadas na elaboração das equações (WHITE et al., 2017a; WHITE et al., 2017b).

Tabela 3. Parâmetros utilizados no desenvolvimento do sistema FDNfa.

VARÍÁVEL	VALORES
	DESENVOLVIDOS NO
	MODELO
TP>19 mm (%)	8
FDA (%)	23
FDN (%)	34-35
PB (%)	17-17.5
Amido (%)	24-26
FDN de forragem (%)	24-26
Forragem na dieta (%)	55-60
Forragem úmida (%)	45-50
Caroço de algodão (%)	0-5
Peso corporal	612-630

Fonte: Morris et al.(2021).

Na prática o aplicativo MUNCH utiliza como entradas as variáveis empregadas na construção dos modelos matemáticos proposto por White et al.(2017a;2017b). Entre os principais parâmetros inseridos estão as proporções de partículas retidas nas peneiras de 19 mm e 8 mm do Penn State Particle Separator (PSPS), utilizadas como indicadores da distribuição do tamanho de partículas da dieta. As partículas retidas na peneira de 19 mm representam a fração mais longa da dieta, associada à maior retenção ruminal e ao estímulo da mastigação e da ruminação.

Além das características físicas, o modelo incorpora variáveis relacionadas à composição química da dieta, incluindo os teores de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), proteína bruta (PB) e amido. A FDN representa a principal fração estrutural da parede celular vegetal e está associada ao enchimento ruminal e ao estímulo da ruminação, enquanto a FDA corresponde à porção menos digestível da fibra, sendo relacionada à taxa de degradação dos alimentos no rúmen. O teor de proteína bruta é considerado por sua influência sobre a atividade microbiana ruminal, ao passo que o teor de amido é incluído devido ao seu impacto sobre a fermentação ruminal e o pH do rúmen, fatores diretamente relacionados ao comportamento ingestivo dos animais.

O peso corporal também é utilizado pelo modelo como variável de ajuste, uma vez

que animais de maior porte apresentam maior capacidade de consumo e diferentes exigências nutricionais, podendo influenciar o tempo destinado à ruminação. Dessa forma, o sistema integra informações referentes à estrutura física da dieta, sua composição química e características dos animais, buscando prever de forma mais precisa respostas fisiológicas relacionadas à saúde ruminal e ao comportamento ingestivo.

Entretanto, o aplicativo se torna uma ponte entre a teoria do FDN_f e a realidade prática das fazendas, promovendo decisões nutricionais mais embasadas e seguras. Neste contexto, o presente trabalho busca testar a efetividade do modelo FDN_f por meio da correlação entre o tempo de ruminação real, obtido por coleiras de monitoramento em vacas em lactação, e os valores preditos pelo MUNCH. Essa abordagem visa validar, em condições de campo, a utilidade do sistema na formulação de dietas mais eficientes, alinhadas com o comportamento ingestivo e a saúde ruminal dos animais.

4.6. Relevância da correlação entre FDN_f e tempo de ruminação.

Compreender a relação entre o FDN fisicamente ajustado (FDN_f) e o tempo de ruminação é fundamental para o aprimoramento da eficiência alimentar em sistemas de produção leiteira. O tempo de ruminação é um indicador direto da saúde ruminal e da eficácia da dieta em promover digestibilidade e estabilidade no ambiente do rúmen. Como o FDN_f considera simultaneamente fatores químicos e físicos da fibra, sua associação com o comportamento ingestivo permite avaliação mais precisa da efetividade da dieta em condições reais.

Quando a dieta apresenta níveis adequados de fibra fisicamente efetiva, ocorre maior estímulo à mastigação e à ruminação, processos fundamentais para a manutenção da homeostase ruminal. Durante a ruminação, há aumento da produção de saliva, principal mecanismo fisiológico de tamponamento do rúmen. A saliva dos ruminantes é rica em bicarbonato e fosfato, compostos responsáveis pela neutralização dos ácidos produzidos durante a fermentação ruminal. Esse mecanismo contribui para a manutenção do pH ruminal em faixas adequadas, normalmente entre 5,8 e 6,8, condição essencial para o crescimento e atividade de bactérias fibrolíticas responsáveis pela degradação da fibra (VAN SOEST, 1994; ALLEN, 1997). Dessa forma, a efetividade física da fibra influencia diretamente a estabilidade do ambiente ruminal, a digestibilidade dos nutrientes e a eficiência fermentativa, evidenciando que o tempo de ruminação não representa apenas um comportamento ingestivo, mas também um importante indicador funcional da saúde ruminal.

A adequada manutenção do ambiente ruminal apresenta relação direta com o

desempenho produtivo das vacas leiteiras. Dietas com níveis adequados de fibra fisicamente ajustada (FDNfa) favorecem a digestão da fibra, aumentam a produção de acetato no rúmen e contribuem para a síntese de gordura do leite, além de promoverem maior estabilidade fermentativa e melhor eficiência de utilização dos nutrientes. Em contrapartida, dietas com baixos níveis de FDNfa reduzem o estímulo mastigatório e o tempo de ruminação, diminuem a produção de saliva tamponante e aumentam o risco de acidose ruminal subclínica. Essas alterações comprometem a atividade da microbiota fibrolítica, reduzem a digestibilidade da fibra e podem resultar em queda na produção de leite, redução do teor de gordura do leite e pior desempenho produtivo dos animais (MERTENS, 1997; ZEBELI et al., 2012; NASEM, 2021).

Nesse contexto, apesar do avanço representado pelo conceito de FDNfa, ainda existem limitações importantes relacionadas à aplicação prática desses modelos nutricionais. Grande parte das equações preditivas considera que os animais consomem a dieta de maneira uniforme, sem incorporar adequadamente fatores comportamentais, variações individuais no consumo ou alterações físicas da TMR ao longo do cocho. Dessa forma, prever o tempo real de ruminação em condições comerciais continua sendo um desafio, uma vez que a resposta animal depende não apenas da composição química da dieta, mas também da interação entre características físicas, comportamento ingestivo e manejo alimentar. Essas limitações reforçam a necessidade de validação do sistema FDNfa em condições reais de produção, utilizando indicadores fisiológicos diretamente relacionados ao ambiente ruminal, como o tempo de ruminação.

Assim, correlacionar o tempo de ruminação predito pelo sistema FDNfa com o tempo efetivamente observado por meio de coleiras eletrônicas de monitoramento pode contribuir para aumentar a precisão das recomendações nutricionais e aproximar os modelos teóricos da realidade prática das fazendas leiteiras. Além disso, a validação desse sistema em condições reais de produção é fundamental para verificar sua aplicabilidade em diferentes cenários nutricionais e sistemas de manejo, especialmente diante das variações na composição das dietas e no comportamento ingestivo dos animais. Nesse contexto, torna-se necessário testar o sistema FDNfa em condições de campo e verificar se existe correlação entre o tempo de ruminação predito pelo modelo e o tempo efetivamente observado por meio de coleiras eletrônicas de monitoramento. Essa abordagem permitirá avaliar a capacidade preditiva do sistema e sua utilização como ferramenta de apoio à formulação de dietas e ao monitoramento da saúde ruminal em vacas leiteiras.

4.7. Monitoramento eletrônico do comportamento ingestivo em vacas leiteiras.

O monitoramento eletrônico do comportamento ingestivo tem se consolidado como uma importante ferramenta na pecuária leiteira, permitindo o acompanhamento contínuo de parâmetros relacionados à nutrição, ao bem-estar, à saúde e ao desempenho produtivo dos animais. O desenvolvimento de sensores eletrônicos e algoritmos de processamento de dados possibilitou a obtenção de informações em tempo real, reduzindo a necessidade de observações visuais e aumentando a precisão na identificação de alterações comportamentais (BORCHERS; BEWLEY, 2015).

Entre as tecnologias disponíveis, destacam-se as coleiras eletrônicas equipadas com sensores de movimento, capazes de registrar automaticamente variáveis como tempo de ruminação, atividade, ócio, número de refeições e indicadores relacionados ao estresse térmico. Esses sistemas utilizam acelerômetros tridimensionais e algoritmos de classificação comportamental para identificar os movimentos característicos realizados pelos animais durante as diferentes atividades diárias, permitindo o monitoramento contínuo do rebanho (BORCHERS; BEWLEY, 2015).

O tempo de ruminação é considerado um dos principais indicadores da saúde ruminal e da eficiência da dieta, uma vez que está diretamente relacionado à mastigação, à produção de saliva e à manutenção do pH ruminal. Reduções no tempo de ruminação podem estar associadas a alterações na composição da dieta, diminuição da efetividade física da fibra, distúrbios digestivos ou enfermidades. Em contrapartida, tempos de ruminação compatíveis com os padrões esperados indicam adequado estímulo mastigatório e funcionamento normal do rúmen.

Além da ruminação, o monitoramento da atividade auxilia na identificação de alterações comportamentais relacionadas ao consumo de alimento, ao estro e a possíveis problemas de saúde. O tempo de ócio corresponde ao período em que o animal permanece em repouso sem realizar atividades de alimentação ou ruminação, sendo importante para o conforto e bem-estar. Outro parâmetro frequentemente monitorado é a ofegação, utilizada como indicador de estresse térmico, enquanto o número de refeições fornece informações sobre a frequência de consumo da dieta e possíveis alterações no comportamento ingestivo.

Os sistemas comerciais de monitoramento disponibilizam valores de referência para auxiliar na interpretação desses indicadores. No sistema CowMed®, tempos de ruminação superiores a 390 minutos por dia, períodos de ócio entre 420 e 540 minutos diários,

percentual de ofegação inferior a 25% do dia e frequência de alimentação superior a sete refeições diárias são considerados compatíveis com animais em condições adequadas de saúde e manejo. Entretanto, esses parâmetros devem ser interpretados em conjunto com a categoria animal, o sistema de produção e as características da dieta (COWMED®).

Neste estudo, foi utilizado o sistema CowMed® para o monitoramento contínuo do comportamento ingestivo das vacas em lactação. Os dados de tempo de ruminação, atividade, ócio, ofegação e número de refeições obtidos pelas coleiras eletrônicas foram utilizados para caracterizar o comportamento dos animais e, principalmente, para comparar o tempo de ruminação observado com os valores preditos pelo aplicativo MUNCH, permitindo avaliar a aplicabilidade do sistema FDNfa em condições de campo.

5. METODOLOGIA

O experimento foi conduzido na Fazenda do Glória, no Setor de Bovinos de Leite (SEBOL), pertencente à Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), localizada em Uberlândia, Minas Gerais, na BR-050, km 78.

Foram utilizadas 46 vacas em lactação da raça Girolando mantidas em sistema de Compost Barn utilizando cama de maravalha e serragem (Figura 4). O grau de sangue dos animais é composto por 15/16, 7/8 e 3/4 Holandês:Gir. As vacas foram distribuídas em duas categorias: primíparas (lote 1, 19 animais), e multíparas (lote 2, 27 animais), com dias em lactação (DEL) variando de 21 a 216 dias. Visando manter a homogeneidade fisiológica dos grupos, foram retirados das avaliações os animais no período pós-parto e muito próximos do período de secagem.

Figura 3. Dieta total fornecida aos animais após a ordenha.



Fonte: Arquivo pessoal

Durante o experimento, com duração de 16 dias, foram obtidas as variáveis, consumo de matéria seca, produção de leite e do comportamento ingestivo. Todos os animais dos lotes de primíparas e múltiparas, receberam a mesma dieta total misturada (TMR), formulada com proporção fixa de volumoso: concentrado (V:C) e mesma composição quanto aos teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e amido (Tabela 4).

Tabela 4. Ingredientes utilizados na dieta total, expresso em quilos de matéria seca por dia.

INGREDIENTES	kg MS/dia
Silagem de Milho	9,99
Feno (Tifton ou Estrela)	0,96
Milho moído fino	3,65
Caroço de Algodão	1,44
Concentrado Proteico	3,99
RUC	0,81
Farelo de soja <i>By pass</i>	0,21
Ureia Pecuária	0,045

RUC: resíduo úmido de cervejaria

A mistura da TMR foi realizada utilizando vagão misturador vertical Casale® modelo Vertmix Piccola 35 (Figura 4), com tempo padronizado de mistura de 11 minutos. O fornecimento da dieta foi realizado duas vezes ao dia, nos períodos da manhã e da tarde, logo após as ordenhas (Figura 3).

Figura 4. Vagão misturador vertical Casale® modelo Vertmix Piccola 35.



Fonte: Arquivo pessoal

As coletas das dietas fornecidas foram realizadas imediatamente após o fornecimento, antes do acesso dos animais ao cocho. Em cada horário de alimentação, foram coletadas amostras em dez pontos distribuídos ao longo da linha do cocho, sendo quatro pontos no lote 1 e seis pontos no lote 2. As amostras individuais de cada lote foram homogeneizadas, formando uma amostra composta representativa da dieta fornecida para cada lote (Figura 5).

Figura 5. Amostras da dieta total em sacos de papel para realização do procedimento de pré-secagem.



Fonte: Arquivo pessoal

As sobras alimentares foram coletadas 24 horas após o fornecimento da dieta e pesadas, antes da oferta da nova alimentação. Foram retiradas quatro amostras no lote 1 e seis amostras no lote 2, as quais também foram homogeneizadas por lote, formando amostras compostas representativas das sobras alimentares.

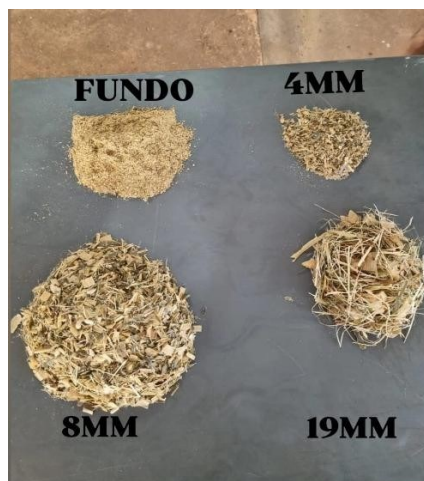
As amostras da dieta fornecida e das sobras alimentares foram secas em estufa de ventilação forçada (65°C) por 72 horas e moídas em moinho de facas no tamanho de partícula de 1 mm e posteriormente encaminhadas ao Laboratório de Bromatologia e Nutrição Animal (LABAN), localizado no campus Umuarama da Universidade Federal de Uberlândia, para a determinação dos teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), conforme metodologias descritas pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Ciência Animal (INCT-CA) segundo Detmann et al. (2021).

A avaliação do tamanho de partículas da dieta fornecida e das sobras alimentares foi realizada utilizando-se o separador de partículas Penn State (Penn State Particle Separator – PSPS), equipado com peneiras com crivos de 19 mm, 8 mm, 4 mm e fundo. Os pesos retidos em cada peneira foram registrados e posteriormente o conteúdo de cada peneira foi levado para estufa de ventilação forçada (65°C) por 72 horas para determinação da porcentagem de matéria seca retida em cada tamanho de partícula (Figura 6).

O consumo de matéria seca (CMS) foi contabilizado pela diferença entre a quantidade de dieta fornecida expressa na matéria seca (manhã e tarde) e as sobras expressa na MS coletadas após 24 horas. O valor obtido foi dividido pelo número de animais dentro do lote. O CMS foi determinado utilizando o cálculo:

$$\text{CMS (kg/dia/animal): } \frac{\text{Dieta fornecida (kg/dia) (\%MS)} - \text{Sobras (kg/dia) (\%MS)}}{\text{n}^{\circ} \text{ de animais.}}$$

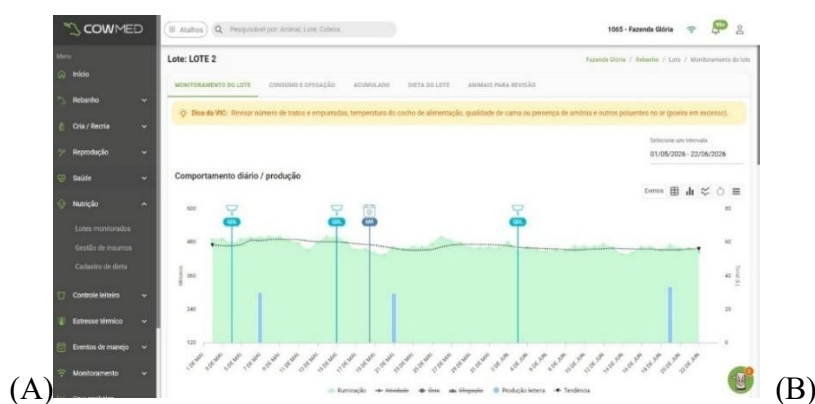
Figura 6. Tamanho de partícula da dieta fornecida após peneiramento utilizando o Separador de Partículas Penn State.



Fonte: Arquivo pessoal

O tempo de ruminação, em atividade e ócio, bem como o número de refeições e as horas em ofegação foram monitoradas continuamente com o uso de coleiras eletrônicas CowMed®, que registraram automaticamente os dados, permitindo o acompanhamento individual ao longo do período experimental (Figura 7).

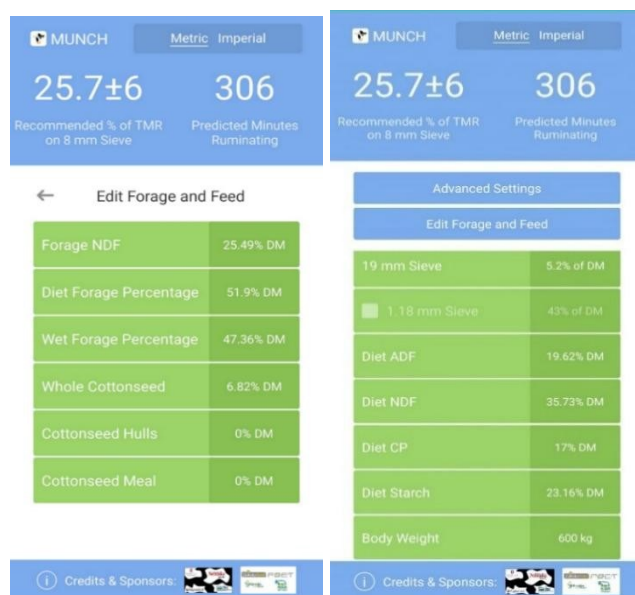
Figura 7. Vacas utilizando coleira de monitoramento CowMed® (A) e informações de tempo de ruminação, atividade, ócio e ofegação obtidas na tela do software CowMed® (B).



Fonte: Arquivo pessoal

Para estimar o tempo em ruminação, a recomendação da proporção de partículas retidas na peneira de 8mm (%MS) e o risco de acidose foi utilizado o aplicativo Munch, desenvolvido pela equipe de extensão da Universidade do Nebraska nos EUA (Figura 8).

Figura 8. Tela inicial do aplicativo Munch com informações de composição da dieta fornecida (características químicas e físicas) e do animal (peso corporal).



Fonte: Arquivo Pessoal

Os *inputs* utilizados referentes as informações da dieta e dos animais foram: tamanho de partícula da dieta total retida na peneira de 19 mm (%MS), teores de FDN, FDA, PB e amido da dieta e peso corporal dos animais (Tabela 5). Além dessas variáveis, o aplicativo Munch considera informações relacionadas à composição física da dieta, incluindo a participação de forragem na matéria seca, a contribuição da FDN proveniente da forragem, a proporção de forragem úmida e a inclusão de caroço de algodão (Figura 8). Esses parâmetros são utilizados pelo modelo de predição por influenciarem diretamente a efetividade física da fibra e o comportamento de ruminação dos animais.

Tabela 5. Informações da dieta e dos animais utilizados como *inputs* no aplicativo Munch.

	%TP 19mm	%TP 8mm	%FDA	%FDN	%PB	%Amido	PC
Primíparas	4,97	43,68	20,97	38,31	17	23,16	600
Múltíparas	4,76	42,42	21,84	40,98	17	22,7	630

PC: peso corporal em Kg

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), considerando duas categorias de vacas (primíparas e múltíparas). Os dados foram analisados como medidas repetidas no tempo. A comparação entre categorias foi realizada por meio do teste F, adotando-se nível de significância de 5% ($P < 0,05$) para as variáveis que atenderam os pressupostos de normalidade e homogeneidades das variâncias. As variáveis que não

atenderem aos pressupostos foram avaliadas por meio de análise não paramétrica, ao nível de 5% de probabilidade para o erro tipo I, utilizando o Teste de Mann-Whitney. Adicionalmente, a correlação entre as variáveis mensuradas foi realizada utilizando a correlação de Pearson, considerando-se significativas as correlações quando $P < 0,05$.

6.RESULTADOS E DISCUSSÃO

As vacas multíparas apresentaram maior tempo de ruminação quando comparadas às primíparas (525 vs. 513 min/dia; Tabela 6, $P < 0,05$), o que pode ser explicado pelo maior consumo de matéria seca observado nesse grupo (25,4 vs. 22,3 kg/dia; $P < 0,05$). Além do maior consumo, vacas multíparas apresentam maior peso corporal, maior capacidade ruminal e maior produção de leite, fatores que elevam a demanda por nutrientes e aumentam o volume de alimento ingerido, resultando em maior tempo destinado à mastigação e à ruminação (ALLEN, 1997; NRC, 2001). Adicionalmente, por ocuparem posição hierárquica superior no rebanho, esses animais tendem a apresentar menor competição pelo alimento e maior facilidade de acesso ao cocho, favorecendo um comportamento ingestivo mais estável e eficiente (GRANT; ALBRIGHT, 2001). Entretanto, ambos os grupos apresentaram tempo de ruminação superior ao valor mínimo de 390 min/dia, recomendado pelo sistema CowMed®, indicando adequada efetividade física da dieta e condições favoráveis à saúde ruminal. De acordo com Adin et al. (2009), vacas leiteiras adultas saudáveis apresentam tempo de ruminação entre 420 e 480 min/dia. Resultados semelhantes foram observados por Soriani et al. (2012), que relataram tempo médio de ruminação de 522 min/dia para vacas multíparas, valor muito próximo ao encontrado no presente estudo, reforçando que os animais apresentaram adequado fornecimento de fibra e condições favoráveis à saúde ruminal.

As vacas primíparas apresentaram maior tempo em atividade quando comparadas às multíparas (303 vs. 290 min/dia; Tabela 6, $P < 0,05$). Esse comportamento pode ser atribuído tanto às diferenças hierárquicas quanto às características comportamentais inerentes aos animais mais jovens. Por ocuparem posição social inferior no rebanho, as primíparas tendem a deslocar-se com maior frequência entre o cocho, o bebedouro e as áreas de descanso, permanecendo menos tempo em repouso quando comparadas às vacas multíparas, que apresentam maior dominância social e maior familiaridade com a rotina do sistema de produção (DAVIS et al., 2023; GRANT; ALBRIGHT, 2001). Além disso, novilhas leiteiras apresentam comportamento exploratório mais acentuado durante a alimentação,

demonstrando maior interesse pela exploração de diferentes opções alimentares e menor neofobia, características que podem contribuir para o maior tempo em atividade observado nesse grupo (MEAGHER et al., 2017).

Não foi observada diferença significativa para o tempo em ócio entre primíparas e múltiparas (Tabela 6, $P>0,05$). Os valores médios de ócio observados (436 e 431 min/dia, respectivamente) permaneceram dentro da faixa considerada adequada pelo sistema CowMed® (420 a 540 min/dia), sugerindo que os animais apresentaram períodos adequados de descanso e bem-estar.

Tabela 6. Tempo em ruminação, atividade, ócio e ofegação (minutos por dia) e número de refeições obtidos nas coleiras de monitoramento eletrônico da Cowmed®.

	Ruminação (min/dia)	Atividade (min/dia)	Ócio (min/dia)	Ofegação (min/dia)	Ofegação (%/dia)	Nº de Refeições
Primíparas	513b	303a	436	188b	13	8,96a
Múltiparas	525a	290b	431	194a	13	8,15b
P-valor	0,003	0,028	NS	0,004	NS	<0,0001

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste F ou Mann-Whitney a 5% de significância ($P<0,05$). NS: Não significativo.

Embora as vacas múltiparas tenham apresentado maior tempo de ofegação em minutos por dia (194 vs. 188 min/dia; $P<0,05$), a porcentagem diária de ofegação foi semelhante entre os grupos, permanecendo em aproximadamente 13% do tempo total monitorado. Os baixos índices de ofegação sugerem ausência de sinais comportamentais de estresse térmico. Entretanto, a frequência de ofegação, quando avaliada isoladamente, não é suficiente para confirmar que os animais permaneceram em conforto térmico durante todo o período experimental. A inclusão de variáveis ambientais, como temperatura do ar, umidade relativa e, principalmente, o índice de temperatura e umidade (THI), permitiria uma interpretação mais robusta das respostas comportamentais, uma vez que esse índice é amplamente utilizado para caracterizar o ambiente térmico e relacioná-lo às respostas fisiológicas e comportamentais de vacas leiteiras.

As vacas primíparas apresentaram maior número de refeições diárias em comparação às múltiparas (8,96 vs. 8,15 refeições/dia; $P<0,05$). Entretanto, ambos os grupos apresentaram valores superiores ao mínimo recomendado de sete refeições diárias, sugerindo adequada frequência de acesso ao alimento e bom padrão de consumo. O maior número de refeições observado nas vacas primíparas provavelmente resulta da combinação de fatores sociais e comportamentais. A posição hierárquica inferior favorece maior competição no

cocho e modifica o padrão de acesso ao alimento, levando esses animais a realizarem refeições menores e mais frequentes (Krahn et al., 2023). Além disso, primíparas ajustam seu comportamento alimentar de acordo com a composição social do grupo, apresentando maior número de interações competitivas e estratégias para evitar a competição direta com vacas múltiparas, o que pode aumentar a frequência de visitas ao cocho (Neave et al., 2024).

Não houve diferença entre vacas primíparas e múltiparas para o tempo de ruminação predito pelo sistema FDNfa no aplicativo Munch, para a recomendação de partículas retidas na peneira de 8 mm, nem para a porcentagem de partículas retidas na peneira de 8 mm das dietas fornecidas e consumidas ($P>0,05$; Tabela 7). Entretanto, o modelo subestimou o tempo de ruminação observado em ambas as categorias. Para as vacas primíparas, o aplicativo Munch estimou 326,56 min/dia, enquanto o tempo de ruminação observado foi de 513 min/dia, correspondendo a uma subestimação de 186,44 minutos (36,3%). Da mesma forma, para as vacas múltiparas, o modelo estimou 326,81 min/dia, enquanto o tempo observado foi de 525 min/dia, resultando em uma subestimação de 198,19 minutos (37,8%). A subestimação do tempo de ruminação pelo modelo de Munch provavelmente está relacionada ao fato de que a ruminação não depende apenas da composição química da dieta. Características físicas dos alimentos, como a fibra em detergente neutro fisicamente efetiva, a distribuição do tamanho das partículas, a fragilidade da fibra e a estrutura física da dieta, influenciam diretamente a necessidade de mastigação e ruminação, mas nem sempre são incorporadas às equações preditivas. Além disso, Beauchemin, K. A et al. (2021) demonstraram elevada variabilidade do tempo de ruminação entre estudos (151 a 638 min/dia, média de 444 min/dia), reforçando que modelos baseados em poucas variáveis dificilmente capturam toda a complexidade do comportamento ingestivo. Dessa forma, a diferença observada entre os valores preditos e os observados neste estudo sugere que fatores estruturais da dieta exerceram influência importante sobre a ruminação, reduzindo a precisão preditiva do modelo de Munch.

Tabela 7. Tempo em ruminação predito (minutos por dia) e recomendação de TP 8 mm (%MS) da dieta total pelo sistema FDNfa utilizando o App Munch e valores de TP 8mm (%MS) fornecido e consumido pelas vacas em lactação (primíparas e multíparas) durante o período experimental.

	Tempo em ruminação Observado	Tempo em ruminação Predito	%Tp 8mm Predito	%Tp 8mm FORNECIDO	% Tp 8mm CONSUMIDO
Primíparas	513 b	326,56 a	24,54 a	43,68 a	43,74 a
Multíparas	525 a	326,81 a	22,11 a	42,42 a	42,22 a
P-valor	0,003	0,793	0,258	0,080	0,067

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste F ou Mann-Whitney a 5% de significância ($P < 0,05$).

Tempo em ruminação observado: obtidos nas coleiras de monitoramento eletrônico da Cowmed®.

Segundo o modelo FDNfa, utilizando o aplicativo Munch, a recomendação da quantidade de partículas retidas na peneira de 8 mm é apresentada dentro de um intervalo de confiança, não sendo expressa como um valor absoluto. Nesse sentido, valores inferiores a 33% na peneira de 8 mm indicam maior risco de deficiência de fibra efetiva, enquanto valores superiores a 53% podem limitar o consumo de matéria seca (Morris et al., 2021). Dessa forma, o sistema FDNfa indica que as vacas do presente estudo apresentam maior risco de deficiência de fibra e de acidificação ruminal.

Entretanto, as dietas experimentais apresentaram aproximadamente 43% e 42% de partículas retidas na peneira de 8 mm, enquanto os animais apresentaram tempos de ruminação de 513 e 525 minutos/dia para primíparas e multíparas, respectivamente. Uma possível explicação para essa divergência está relacionada às condições sob as quais o modelo FDNfa foi originalmente desenvolvido. O sistema foi construído utilizando dados de dietas contendo aproximadamente 23% de FDA, 34 a 35% de FDN, 24 a 26% de amido, 24 a 26% de FDN proveniente da forragem, 55 a 60% de forragem na matéria seca, 45 a 50% de forragem úmida, 0 a 5% de caroço de algodão e 17 a 17,5% de proteína bruta, considerando vacas com peso corporal entre 612 e 630 kg (Morris et al., 2021). Entretanto, as dietas utilizadas no presente estudo apresentaram maiores teores de FDN e menores concentrações de amido, características frequentemente observadas em sistemas de produção brasileiros, o que possivelmente reduziu a capacidade preditiva do modelo.

Além disso, as dietas avaliadas apresentaram elevados teores de FDN fisicamente efetiva e tempos de ruminação superiores a 500 minutos por dia, indicando adequada estimulação da mastigação e condições favoráveis à manutenção da saúde ruminal. Esses

resultados sugerem que fatores relacionados à composição física da dieta, não completamente contemplados pelo modelo em sua base de desenvolvimento, podem ter contribuído para a divergência observada entre os valores preditos pelo sistema FDNfa e aqueles efetivamente registrados pelas coleiras eletrônicas.

Os resultados das simulações demonstraram que alterações nos parâmetros utilizados pelo sistema FDNfa influenciam diretamente as recomendações de distribuição do tamanho de partículas da dieta e o tempo de ruminação predito pelo aplicativo Munch. As simulações foram elaboradas com base em cenários representativos de dietas empregadas em sistemas comerciais de produção de leite no Brasil, utilizando variações plausíveis na proporção de partículas retidas na peneira de 19 mm, nos teores de FDN e de amido, mantendo-se os demais parâmetros do modelo. Em comparação à dieta experimental, o aumento gradual da proporção de partículas retidas na peneira de 19 mm, associado à redução dos teores de FDN e ao aumento do teor de amido, promoveu incremento progressivo no tempo de ruminação estimado pelo modelo, permitindo avaliar a sensibilidade do sistema FDNfa frente a modificações normalmente observadas em estratégias de formulação de dietas para vacas leiteiras.

Tabela 8. Predições do sistema FDNfa utilizada na dieta experimental e em diferentes simulações de dietas, com alterações nos parâmetros de TP>19 mm, teores de FDN e amido.

CENÁRIOS	Inputs da dieta			Predições do sistema FDNfa	
	TP>19mm (%)	FDN (%)	AMIDO (%)	TP 8mm (%MS) - RECOMENDADO	Tempo em ruminação (min/dia)
Dieta Experimental	4,9	39,6	23	24	326
Simulação 1	7	38	24	27	350
Simulação 2	9	36	25	31	390
Simulação 3	10	34,5	26	34	420
Simulação 4	12	34,5	26	31	450

TP: tamanho de partícula.

De acordo com Morris et al. (2021), o aumento da proporção de partículas retidas na peneira superior do Penn State Particle Separator favorece a ruminação e eleva o potencial tamponante do rúmen, reduzindo a necessidade de partículas retidas na peneira de 8 mm para manutenção das condições ruminais desejadas. Esse comportamento foi observado nas simulações realizadas, nas quais o aumento da participação de partículas superiores a 19 mm resultou em maiores tempos de ruminação preditos e maiores recomendações de partículas

na peneira de 8 mm. Entretanto, concentrações excessivas de partículas longas podem aumentar a seleção da dieta pelos animais e reduzir o consumo de matéria seca, limitando a aplicação prática de valores muito elevados dessa fração.

Segundo Morris et al. (2021), o aumento do teor de FDN da dieta tende a elevar o tempo de ruminação e reduzir a recomendação de partículas retidas na peneira de 8 mm, devido ao maior estímulo à mastigação e à atividade ruminal. No presente estudo, os teores de FDN da dieta experimental foram superiores aos utilizados na base de dados empregada para o desenvolvimento do sistema FDNfa. Enquanto o exemplo apresentado pelos autores considera dietas contendo aproximadamente 34% de FDN, as dietas avaliadas no estudo apresentaram valores próximos de 40%, representando incremento de aproximadamente 15% em relação ao valor de referência do modelo. Essa diferença pode ter contribuído para divergências entre as predições do sistema e os valores observados em campo.

O teor de amido exerce efeito oposto ao da fibra sobre o ambiente ruminal. De acordo com Morris et al. (2021), o aumento da concentração de amido eleva a carga fermentativa da dieta e aumenta a recomendação de partículas retidas na peneira de 8 mm como forma de compensar o maior risco de acidificação ruminal. As dietas avaliadas no presente estudo apresentaram teores de amido inferiores aos utilizados no desenvolvimento do sistema FDNfa, os quais giram em torno de 25%. Dessa forma, a menor concentração de amido observada pode ter contribuído para as menores recomendações de partículas de 8mm geradas pelo modelo.

Em relação ao teor de FDN proveniente da forragem (FDN de forragem), Morris et al. (2021) relatam que seu aumento tende a elevar o pH ruminal e reduzir a recomendação de partículas retidas na peneira de 8 mm. Esse efeito ocorre porque a FDN oriunda de fontes forrageiras estimula a mastigação e a ruminação de forma mais eficiente que a fibra proveniente de concentrados, além de apresentar menor taxa de degradação ruminal. Dessa forma, dietas com maior participação de FDN de forragem necessitam de menor quantidade de partículas intermediárias para atingir as condições ruminais preconizadas pelo modelo.

A porcentagem de forragem na dieta também apresenta influência sobre as recomendações do sistema FDNfa. Segundo Morris et al. (2021), existe forte correlação positiva entre a inclusão de forragem e a proporção de partículas retidas na peneira de 8 mm. Entretanto, os autores destacam que esse efeito depende da qualidade da forragem utilizada, do seu processamento e da composição dos ingredientes concentrados da dieta. Dessa forma, alterações na participação de forragem nem sempre resultam em respostas lineares do modelo, uma vez que diferentes fontes forrageiras podem apresentar

características físicas distintas.

Os efeitos da inclusão de forragem úmida e caroço de algodão sobre as recomendações do sistema são considerados relativamente pequenos. Conforme descrito por Morris et al. (2021), variações nesses componentes promovem alterações discretas na recomendação de partículas retidas na peneira de 8 mm e no tempo de ruminação predito. Isso sugere que esses fatores possuem menor importância relativa dentro do conjunto de variáveis consideradas pelo modelo quando comparados ao tamanho de partículas, teor de FDN, teor de amido e FDN proveniente da forragem.

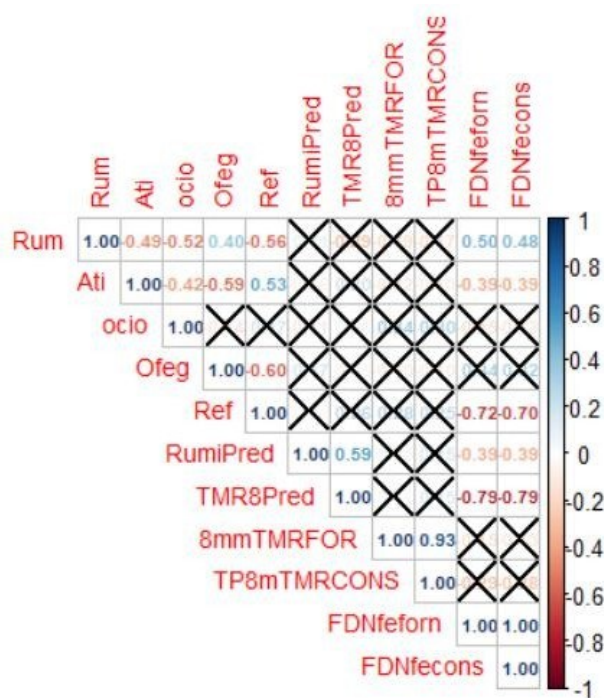
O peso corporal e o teor de proteína bruta também são utilizados como variáveis de entrada no aplicativo MUNCH. Entretanto, Morris et al. (2021) destacam que a influência dessas variáveis nas recomendações do sistema não possui fundamentação biológica direta, sendo decorrente principalmente das características do banco de dados utilizado no desenvolvimento do modelo. Os autores relatam que os dados empregados foram obtidos predominantemente de vacas Holandesas com peso corporal próximo de 635 kg e dietas contendo aproximadamente 17% de proteína bruta. Dessa forma, recomendações geradas para animais com pesos corporais muito distintos ou para dietas com composição diferente daquela utilizada na construção do modelo devem ser interpretadas com cautela, uma vez que podem resultar em estimativas menos precisas das exigências de fibra fisicamente ajustada.

Além das diferenças relacionadas à composição da dieta e às características dos animais, outro fator que pode contribuir para divergências entre as predições do sistema e os resultados observados em campo é o comportamento de seleção alimentar (*sorting behavior*). Embora os modelos de formulação de dietas assumam consumo homogêneo da dieta total misturada (TMR), a dieta efetivamente consumida pelos animais pode diferir da originalmente formulada em função da seleção de partículas. Dependendo da composição da dieta e das condições do ambiente ruminal, as vacas podem selecionar tanto partículas menores e mais concentradas quanto partículas fibrosas mais longas (MILLER-CUSHON; DEVRIES, 2017). Como consequência, a quantidade de fibra fisicamente efetiva ingerida pode diferir daquela considerada na formulação da dieta, influenciando o tempo de ruminação e a resposta ruminal dos animais. Esse comportamento representa uma fonte adicional de variação que não é plenamente contemplada pelos modelos preditivos, podendo contribuir para discrepâncias entre os valores estimados pelo aplicativo MUNCH e aqueles observados em condições comerciais de produção.

De modo geral, as simulações realizadas demonstram que as recomendações do sistema

FDNfa são influenciadas simultaneamente por múltiplos fatores relacionados à composição química e física da dieta. Entretanto, as dietas avaliadas no presente estudo apresentaram características distintas daquelas utilizadas no desenvolvimento do modelo, especialmente em relação aos teores de FDN e amido. Essas diferenças explicam a divergência observada entre os tempos de ruminação preditos pelo aplicativo MUNCH e os valores efetivamente registrados pelas coleiras eletrônicas, evidenciando a necessidade de validação do sistema em diferentes condições de manejo e alimentação de vacas leiteiras.

Figura 9. Coeficientes de Correlação de Person entre as variáveis do comportamento ingestivo e preditas pelo sistema FDNfa.



X: correlação não significativa; Coeficientes de correlação em azul: correlação significativa e positiva; Coeficiente de correlação em vermelho: correlação significativa e negativa.

Tabela 9. Categoria dos valores do coeficiente de correlação segundo Jacques Callegari.

COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
$r = 0$	Nula
$0 < r \leq 0.3 $	Fraca
$ 0.3 < r \leq 0.6 $	Moderada
$ 0.6 < r \leq 0.9 $	Forte
$ 0.9 < r < 1 $	Muito Forte
$R = 1$	Perfeito

Fonte: Callegari, Jacques,(2009).

A ausência de correlação significativa entre o tempo de ruminação observado pelas coleiras eletrônicas e o tempo de ruminação predito pelo sistema FDNfa reforça a hipótese de que o comportamento ingestivo é influenciado por fatores adicionais aos considerados pelo modelo. Embora o sistema FDNfa utilize características físicas e químicas da dieta para estimar o tempo de ruminação, esses parâmetros não foram suficientes para representar o comportamento dos animais nas condições avaliadas neste estudo.

Esse resultado está de acordo com Souza et al. (2022), que, em uma meta-análise envolvendo 479 médias de tratamentos provenientes de 130 estudos, verificaram que variáveis como consumo de matéria seca, produção de leite, pH ruminal e digestibilidade da FDN explicaram apenas 37% da variação do tempo de ruminação. Mesmo com a inclusão da digestibilidade total do trato, a capacidade explicativa aumentou apenas para 41%, demonstrando que grande parte da variação permanece sem explicação.

Da mesma forma, Beauchemin (2018) destacou que a relação entre o tempo de ruminação e variáveis isoladas da dieta é geralmente baixa a moderada, uma vez que esse comportamento resulta da interação simultânea entre fatores como consumo de FDN, fibra fisicamente efetiva, distribuição do tamanho de partículas, características individuais dos animais, estágio de lactação, condições ambientais e manejo alimentar. Dessa forma, os resultados obtidos neste estudo reforçam que modelos baseados em um número limitado de variáveis podem apresentar limitações na predição do tempo de ruminação quando aplicados a diferentes rebanhos e condições de produção.

Assim, a baixa correlação observada evidencia que a utilização exclusiva dos parâmetros considerados pelo sistema FDNfa não foi suficiente para prever o tempo de ruminação nas condições deste estudo, indicando a necessidade de avaliar outros indicadores

relacionados à efetividade física da fibra, como o FDNfe (Tabela 10).

Tabela 10. Teores de FDN fisicamente efetivo (FDNfe) ofertado e consumido pelas vacas em lactação (primíparas e multíparas).

	% FDNfe fornecido	% FDNfe consumido
Primíparas	17,51b	17,17b
Multíparas	20,81a	20,67a
P- valor	<0,001	<0,001

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si ($P < 0,05$).

Foram observadas diferenças significativas entre primíparas e multíparas para os teores de FDNfe fornecido e consumido ($P < 0,05$), sendo os maiores valores registrados para as vacas multíparas. As dietas destinadas às primíparas apresentaram valores médios de 17,51% de FDNfe fornecido e 17,17% de FDNfe consumido, enquanto para as multíparas os valores corresponderam a 20,81% e 20,67%, respectivamente. Como a formulação da dieta foi idêntica para ambos os lotes, a diferença observada nos teores de FDNfe provavelmente decorre de variações na eficiência da mistura e da distribuição da dieta pelo vagão misturador, resultando em diferentes proporções de partículas entre os lotes no momento da amostragem.

Zebeli et al. (2012) em uma revisão abrangente sobre a adequação de fibra fisicamente efetiva em vacas leiteiras de alta produção, compilaram resultados de diversos estudos que avaliaram a relação entre o teor de FDN fisicamente efetiva (FDNfe), atividade de mastigação, comportamento ingestivo, pH ruminal e risco de acidose subaguda. Com base nesses resultados, os autores propuseram que dietas para vacas leiteiras devem conter entre 14,9 e 18,9% de FDNfe, calculada utilizando a peneira de 8 mm do Penn State Particle Separator, como forma de garantir adequada estimulação da mastigação, maior produção de saliva tamponante e manutenção da estabilidade do ambiente ruminal. Valores abaixo dessa faixa podem comprometer a efetividade física da fibra e aumentar o risco de distúrbios fermentativos, enquanto valores excessivamente elevados podem limitar o consumo de matéria seca devido ao maior efeito de enchimento ruminal.

No presente estudo, ambas as categorias apresentaram tempos de ruminação, superiores a 500 minutos por dia, indicando que os níveis de fibra fisicamente efetiva presentes nas dietas foram suficientes para estimular a atividade mastigatória e favorecer a

manutenção da saúde ruminal. Esses resultados ajudam a explicar a discrepância observada entre os tempos de ruminação preditos pelo sistema FDNfa e aqueles efetivamente registrados pelas coleiras eletrônicas.

Além disso, os elevados valores de FDNfe observados, especialmente nas dietas consumidas pelas vacas multíparas, sugerem que a efetividade física da fibra disponível aos animais foi superior àquela considerada pelo modelo de predição. Esse fato pode ter contribuído para os maiores tempos de ruminação observados experimentalmente e reforça a hipótese de que o sistema FDNfa, utilizando o aplicativo MUNCH, tende a subestimar a ruminação quando aplicado a dietas com maior participação de fibra fisicamente efetiva. Uma possível explicação para esse comportamento está relacionada às diferenças entre as dietas utilizadas no presente estudo e aquelas empregadas no desenvolvimento do sistema FDNfa. Dessa forma, os resultados sugerem que o sistema FDNfa, utilizando o aplicativo, apresenta limitações quando aplicado a dietas com composição distinta daquela utilizada para sua calibração original, podendo reduzir sua capacidade preditiva nessas condições. Esses achados reforçam a necessidade de validação do sistema em condições de campo, utilizando dietas representativas dos diferentes sistemas de produção de leite.

7.CONCLUSÃO

O sistema FDNfa, nas condições avaliadas neste estudo, não foi capaz de predizer adequadamente o tempo de ruminação de vacas em lactação, indicando que sua aplicação em dietas com maior participação de volumosos e menores concentrações de amido ainda apresenta limitações. Em contrapartida, o FDN fisicamente efetivo (FDNfe) mostrou maior associação com as respostas observadas nos animais, demonstrando maior potencial para representar a efetividade física da fibra nessas condições. Esses resultados contribuem para a compreensão das limitações da aplicação do sistema FDNfa em sistemas leiteiros brasileiros e fornecem subsídios para que nutricionistas utilizem essa ferramenta com cautela, reforçando a importância da validação e adaptação do modelo às condições nacionais

8. REFERÊNCIAS

ADIN, G.; SOLOMON, R.; NIKBACHAT, M. et al. **Effect of feeding cows in early lactation with diets differing in roughage-neutral detergent fiber content on intake behavior, rumination, and performance.** Journal of Dairy Science, Champaign, v. 92, n. 7, p. 3364–3373, 2009.

ALLEN, M. S. **Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle.** Journal of Dairy Science, Champaign, v. 83, n. 7, p. 1598–1624, 2000.

ALLEN, M. S. **Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants.** Journal of Animal Science, Champaign, v. 74, n. 12, p. 3063–3075, 1996.

ALLEN, M. S. **Relationship between ruminal fermentation and the requirement for physically effective fiber.** Journal of Dairy Science, Champaign, v. 80, n. 7, p. 1447–1462, 1997.

BEAUCHEMIN, K. A. et al. **Development of empirical models to predict rumination time in dairy cows from dietary and animal variables.** Journal of Dairy Science, Champaign, v. 104, 2021.

BORCHERS, M. R.; BEWLEY, J. M. **An assessment of producer precision dairy farming technology use, prepurchase considerations, and usefulness.** Journal of Dairy Science, Champaign, v. 98, n. 6, p. 4198–4205, 2015.

COWMED. **Coleira de monitoramento animal.** Santa Maria, RS, [2025]. Disponível em: <https://www.cowmed.com.br>. Acesso em: 11 jun. 2025.

DAVIS, L.; FRENCH, E. A.; AGUERRE, M. J.; ALI, A. **Impact of parity on cow stress, behavior, and production at a farm with guided traffic automatic milking system.** Frontiers in Animal Science, Lausanne, v. 4, art. 1258935, 2023.

DETMANN, E. et al. Métodos para análise de alimentos. In: INCT-CA – **Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Ciência Animal.** Manual de métodos analíticos. 2. ed. Viçosa,

MG: UFV, 2021.

DEVRIES, T. J.; VON KEYSERLINGK, M. A. G.; WEARY, D. M. **Effect of feeding space on the inter-cow competition and feeding behavior of lactating dairy cows.** Journal of Dairy Science, Champaign, v. 87, n. 5, p. 1432–1438, 2004.

EMBRAPA. **Perspectivas para o setor lácteo em 2024.** Brasília, DF: Embrapa, 2024.

EMBRAPA GADO DE LEITE. **Anuário Leite 2025: produção de leite e as mudanças climáticas.** Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1176413/anuario-leite-2025-producao-de-leite-e-as-mudancas-climaticas>. Acesso em: 5 dez. 2025.

FEEDSTRATEGY. **Total mixed ration improves dairy cow nutrition and rumen health.** 2024. Disponível em: <https://www.feedstrategy.com>. Acesso em: 13 mar. 2026.

GRANT, R. J.; ALBRIGHT, J. L. **Effect of animal grouping on feeding behavior and intake of dairy cattle.** Journal of Dairy Science, Champaign, v. 84, p. E156–E163, 2001.

GRANT, R. J.; FERRARETTO, L. F. **Feeding for high production and cow health.** In: VAN HORN, H. H.; WILCOX, C. J. (ed.). Large Herd Dairy Management. 3. ed. Champaign: American Dairy Science Association, 2017. p. 353–365.

HEINRICHS, A. J.; KONONOFF, P. J. **Evaluating particle size of forages and TMRs using the Penn State Particle Separator.** University Park: Penn State Extension, 2002. (DAS 02-42). Disponível em: <https://extension.psu.edu/evaluating-particle-size-of-forages-and-tmrs-using-the-penn-state-particle-separator>. Acesso em: 12 jun. 2025.

MERTENS, D. R. **Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows.** Journal of Dairy Science, Champaign, v. 80, n. 7, p. 1463–1481, 1997. DOI: 10.3168/S0022-0302(97)76075-2.

MERTENS, D. R. **Physical effective NDF and its use in formulating dairy rations.** In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM BOVINOS DE LEITE, 2., 2001, Lavras. Anais... Lavras:

UFLA/FAEPE, 2001. p. 25–36.

MORRIS, D. L.; CLARK, K.; KONONOFF, P. J.; WHITE, R. R.; HALL, M. B.; FIRKINS, J. L. **MUNCH: a smartphone application for effective fiber for dairy cows**. Lincoln: Nebraska Extension, University of Nebraska–Lincoln, 2021. (NebGuide G2316).

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE (NASEM). **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. 8. rev. ed. Washington, DC: The National Academies Press, 2021. DOI: <https://doi.org/10.17226/25806>.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. 7. rev. ed. Washington, DC: National Academy Press, 2001.

OLIVEIRA, J. R. et al. **Produção de leite no Brasil e no mundo: dados atualizados de 2024**. MilkScience, v. 8, n. 2, p. 45–53, 2024.

REENTERO, F. L. **Gestão e expansão na pecuária leiteira intensiva**. Revista Campo & Pesquisa, v. 22, n. 1, p. 58–67, 2024.

SILVA, S. P. **Taxa de passagem em caprinos submetidos ou não à restrição alimentar**. 2013. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2013.

SOUZA, J. et al. **Predicting rumination time in dairy cows: a meta-analysis of dietary and animal factors**. Journal of Dairy Science, Champaign, v. 105, n. 5, p. 4138–4154, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21422>.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional Ecology of the Ruminant**. 2. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994.

WHITE, R. R. et al. **Physically adjusted neutral detergent fiber system for dairy cattle**. Journal of Dairy Science, Champaign, v. 100, n. 10, 2017.

WHITE, R. R. et al. **A revised model to estimate rumination time using diet characteristics**.

Journal of Dairy Science, Champaign, v. 100, n. 10, p. 8934–8941, 2017.

ZEBELI, Q. et al. **A review of the different dietary approaches to manipulate the rumen environment in dairy cattle.** Animal Feed Science and Technology, Amsterdam, v. 171, n. 1–2, p. 1–22, 2012.

ZEBELI, Q. et al. **Invited review: Role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle.** Journal of Dairy Science, Champaign, v. 95, n. 3, p. 1041–1056, 2012. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4421>