

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**EFEITOS DA ADIÇÃO DE ENZIMAS FIBROLÍTICAS OU BUTIRATO DE
SÓDIO SOBRE A DIGESTIBILIDADE DE NUTRIENTES DE BOVINOS
ANGUS EM CONFINAMENTO**

Orientador: Prof. Dr. Danilo Domingues Millen

Coorientadora: Ana Laura Januário Lelis

Discente: Camila Lisboa Tomaz

Jaboticabal - SP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITOS DA ADIÇÃO DE ENZIMAS FIBROLÍTICAS OU BUTIRATO DE
SÓDIO SOBRE A DIGESTIBILIDADE DE NUTRIENTES DE BOVINOS
ANGUS EM CONFINAMENTO**

Camila Lisboa Tomaz

Danilo Domingues Millen

Trabalho de Conclusão de Curso (Iniciação Científica) apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para graduação em Zootecnia.

Jaboticabal – SP
1º semestre/2025

T655e Tomaz, Camila Lisboa

Efeitos da adição de enzimas fibrolíticas ou butirato de sódio sobre a digestibilidade de nutrientes de bovinos angus em confinamento / Camila Lisboa Tomaz. -- Jaboticabal, 2025

35 p. : tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Danilo Domingues Millen

Coorientadora: Ana Laura Januário Lelis

1. Bovinos de Corte. 2. Aditivos. 3. Canulados. 4. Dióxido de Titânio. 5. Rúmen. I. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"



CAMILA LISBOA TOMAZ

**EFEITOS DA ADIÇÃO DE ENZIMAS FIBROLÍTICAS OU BUTIRATO DE SÓDIO
SOBRE A DIGESTIBILIDADE DE NUTRIENTES DE BOVINOS ANGUS EM
CONFINAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Danilo Domingues Millen
Coorientador: Ana Laura Januário Lelis

Área de Concentração: Nutrição de Ruminantes

Data da defesa: 03/07/2025

(X) Aprovado
() Reprovado

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
gov.br ANA LAURA JANUÁRIO LELES
Data: 15/07/2025 10:40:09-0300
Verifique em <https://validar.jil.gov.br>

Msc. Ana Laura Januário Lelis
UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

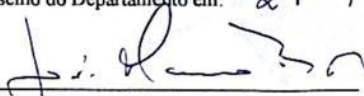
Documento assinado digitalmente
gov.br KALISTA ELOISA LOREGIAN
Data: 15/07/2025 15:06:57-0300
Verifique em <https://validar.jil.gov.br>

Msc. Kalista Eloisa Loregian
UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
gov.br DANIEL HIDEKI MARIANO WATANABE
Data: 15/07/2025 15:46:12-0300
Verifique em <https://validar.jil.gov.br>

Dr. Daniel Hideki Mariano Watanabe
UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 24 / 07 / 2025


Prof. Dr. José Maurício Barbanti Duarte
Chefe do Departamento

OFERECIMENTO

Ofereço este trabalho aos meus pais, Leidiane e Cesar, à minha irmã, Maria Julia, ao meu tio Juniel (in memoriam), e a minha avó, Maria Julia (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, por ser minha fortaleza em todos os momentos da vida, por me conceder sabedoria, serenidade e perseverança. Por nunca ter me deixado desistir, mesmo diante dos maiores desafios.

À minha avó Maria Júlia, ao meu tio Juniel, à minha bisavó Bernarda, ao meu bisavô Antônio e ao meu avô Jorge, que já partiram, mas continuam vivos em minha memória e em meu coração, como exemplos de amor, força e dedicação.

Aos meus pais, César e Leidiane, pelo apoio, amor incondicional e por serem meus maiores exemplos de caráter, integridade e perseverança. À minha irmã, Maria Júlia, que sempre esteve ao meu lado com carinho, incentivo e amizade.

À minha família e casa, República Boazona, que foi meu lar durante os anos de graduação, onde construí amizades, compartilhei aprendizados e vivi experiências que levarei para toda a vida.

À Unesp – Jaboticabal, por todas as oportunidades ofertadas.

Aos meus companheiros de classe, Giovanna, Mariana, Larissa, Murilo, João e Luiza, que tornaram a jornada mais leve, alegre e significativa, sempre com companheirismo e apoio mútuo.

Ao meu professor e orientador Danilo Millen, que me inspirou a seguir na área de nutrição de ruminantes, despertando em mim a paixão pela zootecnia, e também pela orientação, paciência e ensinamentos que foram fundamentais na minha formação.

À minha coorientadora, Ana Laura Lelis, pela amizade, apoio, dedicação e pela confiança no desenvolvimento deste trabalho.

À equipe de pós-graduação do setor de bovinocultura de corte — Pedro, Daniel, Rodrigo, Leandro, Daniel, Ariani e Kalista — que, com generosidade e competência, me ensinaram tudo que sei hoje, contribuindo imensamente para minha formação profissional e pessoal.

À CNPq pelo financiamento por meio da bolsa de Iniciação Científica, fundamental para o desenvolvimento deste trabalho

Ao funcionário Servidone e aos estagiários do setor, pelo apoio nas atividades de campo e pelo aprendizado compartilhado no dia a dia.

A todos que, de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, meu sincero agradecimento.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1. Confinamento no Brasil.....	9
2.2. Digestibilidade de Nutrientes e Fermentação Ruminal.....	10
2.3. Enzimas Fibrolíticas.....	14
2.4. Butirato de Sódio.....	16
3. OBJETIVO.....	17
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
4.1. Animais e Instalações.....	17
4.2. Delineamento Experimental.....	17
4.3. Manejo, Arraçoamento e Cuidado com os Animais.....	18
4.4. Determinação da digestibilidade dos nutrientes por marcador externo.....	19
4.5. Análises Laboratoriais.....	20
4.6. Análises Estatísticas.....	20
5. RESULTADOS.....	20
6. DISCUSSÃO.....	21
7. CONCLUSÃO.....	24
8. RESUMO.....	25
9. SUMMARY.....	26
10. REFERÊNCIAS.....	27

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, embora a criação de bovinos de corte a pasto ainda represente a maior parte da produção (CEZAR et al., 2005), a estratégia de terminação de bovinos de corte em confinamento tem tomado força nos últimos anos, oferecendo aos animais dietas ricas em grãos, com alto potencial fermentativo, o que favorece o maior ganho de peso diário e acelera o acabamento de carcaça garantindo a deposição em níveis desejados pelo mercado frigorífico. (SILVESTRE; MILLEN, 2021).

A digestibilidade dos nutrientes corresponde ao processo de degradação e absorção dos nutrientes contidos nos alimentos, fatores diretamente ligados ao desempenho animal (VAN SOEST, 1994). Dada a alta inclusão de grãos, dietas de confinamento apresentam elevados valores de digestibilidade, uma vez que a degradação de tais ingredientes ocorre de maneira mais acelerada no ambiente ruminal, disponibilizando os nutrientes para fermentação ruminal (MILLEN et al., 2016).

A fermentação ruminal é conduzida pela população de microrganismos anaeróbios no rúmen que degradam os carboidratos da dieta em energia, gases (CH_4 , CO_2 , H_2) e ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), tais como acetato, butirato e propionato, usados pelo hospedeiro como principal fonte energética (BAKER, 1999). O acetato é usualmente utilizado no metabolismo energético e oxidativo, enquanto o propionato é transportado para o fígado para ser transformado em glicose via (HACKMANN et al., 2024). Já a maior parte do butirato é convertida em corpos cetônicos como β -hidroxibutirato, especialmente utilizado pelo epitélio ruminal, favorecendo seu desenvolvimento (HACKMANN et al., 2024).

Embora o processo fermentativo seja fundamental para o fornecimento de energia, a digestibilidade dos nutrientes nem sempre é a máxima (MORGAVI et al., 2000). Nesse sentido, diversas estratégias nutricionais têm sido estudadas com o objetivo de otimizar a digestibilidade e o aproveitamento dos alimentos, sendo a utilização de enzimas exógenas uma alternativa promissora (BALIEIRO et al., 2018).

As enzimas podem ser divididas em amilolíticas, fibrolíticas e proteolíticas, sendo as enzimas fibrolíticas as mais estudadas e utilizadas para ruminantes (BALIEIRO et al., 2018). As enzimas fibrolíticas são aditivos que atuam nas ligações químicas da fração fibrosa dos alimentos, clivando-as em moléculas menores e disponíveis para utilização da microbiota, favorecendo a digestibilidade da mesma (DE

FREITAS et al., 2018). O uso desse aditivo visa disponibilizar carboidratos solúveis vindos da hidrólise de paredes celulares e ampliar a eficiência de aproveitamento das forragens na produção de ruminantes (JUNG; ALLEN, 1995). Martins et al. (2006) comprovaram que a suplementação com enzimas como celulase e xilanase favorece a degradação dos componentes fibrosos das dietas, resultando em maior digestibilidade da fibra e melhor aproveitamento nutricional.

As enzimas fibrolíticas exógenas podem complementar a ação enzimática dos microrganismos no rúmen promovendo maior digestão de substratos nos momentos iniciais da fermentação, quando a atividade microbiana ainda está se estabelecendo, o que favorece o aproveitamento dos nutrientes (CYSNEIROS et al., 2013). O uso de enzimas fibrolíticas exógenas também podem facilitar a ação de enzimas no intestino delgado, já que as partículas podem deixar o rúmen em estado avançado de degradação, o que aumenta a absorção dos nutrientes entre o duodeno e o jejuno (MORGAVI et al., 2001).

Além disso, para que os produtos da fermentação ruminal sejam eficientemente absorvidos, o desenvolvimento das papilas ruminais torna-se essencial, pois aumenta a área de superfície disponível para a absorção de AGCC (GÓRKA et al., 2011). Entre os AGCC produzidos do rúmen, o butirato e o propionato são os principais responsáveis por estimular diretamente o crescimento dessas estruturas (GÓRKA et al., 2011). Contudo, o butirato está presente no rúmen em concentrações menores em comparação ao acetato e propionato, independentemente do sistema de produção adotado, podendo restringir o desenvolvimento das papilas ruminais e, como resultado, reduzir a superfície absorptiva (GÓRKA et al., 2014).

Para contornar esse desafio o butirato pode ser fornecido via suplementação dietética, comumente na forma de butirato de sódio, um sal estável, seguro e de fácil manuseio, que se dissocia rapidamente no rúmen, disponibilizando o butirato livre para a absorção (RICE et al., 2019). Com maior área de superfície para absorção de AGCC, o pH ruminal pode permanecer mais elevado, e assim promover ambiente ruminal mais saudável para degradação e fermentação das partículas de alimento, o que pode aumentar a digestibilidade dos nutrientes no trato digestivo como um todo (DIJKSTRA et al., 1993).

A partir disso, formula-se a hipótese de que a adição de enzimas fibrolíticas ou butirato de sódio melhora a digestibilidade dos nutrientes ao longo do trato gastrointestinal total.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Confinamento no Brasil

A pecuária de corte representa uma das principais atividades econômicas no Brasil, país que lidera o comércio internacional de carne bovina e figura entre os maiores produtores e rebanhos do mundo (USDA, 2022). No ano de 2023, a quantidade de cabeças bovinas no Brasil foi estimada em 234,35 milhões, dos quais 41,96 milhões foram abatidas. Desse total, o Brasil exportou 2,29 milhões de toneladas de carne bovina, estabelecendo um novo recorde de volume exportado (ABIEC, 2024).

A produção bovina no Brasil, é tradicionalmente baseada em sistemas extensivos nos quais, os animais são criados a pasto, seja em pastagem nativa ou cultivada (GOMES et al., 2017). Embora seja amplamente adotado pelos agricultores brasileiros, o sistema extensivo apresenta desafios, como a escassa utilização de tecnologias, uma produção reduzida por área e frequentemente enfrenta diversos desafios na administração (CARVALHO et al., 2017). Por outro lado, em uma pecuária mais intensiva, especialmente o confinamento, surgem como uma alternativa para que esses problemas tendem a ser resolvidos ou reduzidos (CARVALHO et al., 2017).

Dado esse contexto, um estudo realizado na região do Vale do Paraíba, em São Paulo, comparou os sistemas de produção intensiva e extensiva para a terminação de bovinos da raça Nelore, levando em consideração os indicadores zootécnicos e financeiros de 213 animais em cada sistema. Os resultados mostraram que, no confinamento, os bovinos apresentaram maior ganho de peso diário, melhor rendimento de carcaça e menor tempo de terminação. Por outro lado, o sistema extensivo se destacou pelos custos operacionais mais baixos, embora com o desempenho produtivo inferior. A pesquisa destaca que a escolha entre os sistemas deve considerar os objetivos da produção, uma vez que o confinamento, apesar da maior eficiência zootécnica demanda maior investimento, manejo mais intensivo e cuidados com o bem-estar e ambiência (MARCONDES et al., 2020).

Inicialmente o confinamento surgiu como uma tática para facilitar a aquisição de animais durante a temporadas de safra e sua revenda no intervalo entressafra. Em seguida, passou a ser empregado para a valorização de resíduos ou subprodutos provenientes da agroindústria. Atualmente, é empregado como um recurso de manejo, auxiliando nos sistemas de cria, recria e engorda, além de otimizar o manejo de pastagens, superando algumas dificuldades ligadas à sazonalidade de produção de forragem (LANNA et al., 2005).

Com o crescimento do confinamento no Brasil, a nutrição torna-se um fator determinante para o sucesso do sistema, uma vez que o desempenho dos animais está ligado não apenas em um manejo sanitário eficiente, mas também à implementação de uma dieta equilibrada e adaptadas às exigências nutricionais dos bovinos (LOPES; MAGALHÃES, 2005).

A alimentação representa aproximadamente 70% dos custos de terminação de bovinos em confinamento, sendo o principal fator de despesa nesse sistema (PAULO; RIGO, 2012). Há uma variedade de dietas empregadas durante o confinamento, porém, ultimamente, tem-se observado um aumento no uso de dietas ricas em concentrados e quantidade reduzida de volumosos (PAULO; RIGO, 2012). Essa tendência se deve, em parte, às dificuldades logísticas e econômicas associadas à produção e estocagem de volumosos, como a silagem, que exigem mão de obra, área física e estrutura específica (PAULO; RIGO, 2012).

No entanto, é importante destacar que a formulação de dietas de alto grão exige atenção especial para prevenir desordens metabólicas, como a acidose ruminal (OWENS et al., 1998). A adaptação gradual desses animais a essas dietas é fundamental para evitar problemas de saúde e assegurar o bem-estar dos mesmos (MEDEIROS et al., 2015). Assim, o manejo nutricional deve ser minuciosamente estruturado, levando em conta as exigências nutricionais dos animais e as características dos ingredientes disponíveis. (MEDEIROS et al., 2015).

2.2. Digestibilidade de Nutrientes e Fermentação Ruminal

A digestibilidade de um alimento refere-se à fração dos nutrientes ingeridos que é efetivamente absorvida e utilizada pelo organismo, influenciando diretamente o aproveitamento metabólico desses compostos (COELHO; LEÃO, 1979). A capacidade de digestão dos alimentos é crucial para o desempenho dos ruminantes, uma vez que

afeta diretamente a quantidade de nutrientes que são absorvidos e utilizados para manutenção, crescimento e produção (VAN SOEST, 1994). Conforme afirmado por Da Silva (2023), o desempenho dos animais depende de três fatores essenciais: ingestão de matéria seca, valor nutricional dos alimentos e digestibilidade. Assim, quando um animal consome uma dieta de boa composição nutricional e de fácil digestão, é esperado que seu desempenho seja mais elevado

Existem duas formas de expressar a digestibilidade: a aparente e a verdadeira. A digestibilidade aparente é determinada pela diferença entre a quantidade de nutriente consumido e a quantidade excretada nas fezes, desconsiderando as perdas endógenas, que incluem secreções digestivas, enzimas, células epiteliais descamadas e outras substâncias originadas do próprio trato-gastrointestinal (BÜNZEN et al., 2009). Em contrapartida, a digestibilidade verdadeira modifica esse valor ao considerar essas perdas internas, oferecendo uma avaliação mais exata da porção de nutrientes realmente disponível para o metabolismo dos animais. (POZZA et al., 2004).

A determinação da digestibilidade dos nutrientes, de forma convencional, é frequentemente realizada por meio do método de coleta total de fezes, amplamente reconhecido como padrão de referência por sua precisão na mensuração da excreção fecal durante o período experimental; entretanto, essa técnica apresenta limitações operacionais, exigindo infraestrutura específica, como baías metabólicas, além de demandar considerável esforço técnico e logístico por parte da equipe envolvida (SCHNEIDER; FLATT, 1975; OWENS et al., 1998).

Diante dessas limitações, métodos alternativos à coleta total de fezes têm sido desenvolvidos por meio de uso de indicadores, que permitem estimar a produção fecal a partir das amostras coletadas de acordo com o protocolo estabelecido (VALENTINI et al., 2012). Além disso, esses indicadores permitem avaliar a taxa de passagem da digesta no trato gastrointestinal e a digestibilidade total e parcial dos nutrientes (VALENTINI et al., 2012).

Os indicadores podem ser classificados em internos e externos. Os internos são aqueles presentes naturalmente na alimentação ou na dieta, como lignina e cinzas insolúveis em ácido, enquanto os externos são substâncias adicionadas à ração, como óxido de cromo (Cr_2O_3) e óxido de titânio (TiO_2) (BERNARD et al., 1995). Para assegurar a precisão das estimativas, é crucial que o indicador seja completamente

recuperado nas fezes, pois falhas na sua recuperação podem comprometer a acurácia dos resultados obtidos (ANDRADE; NASCIMENTO JUNIOR, 2011). O óxido crômico é frequentemente usado como um indicador externo na avaliação da digestibilidade, no entanto, a sua utilização possui algumas restrições, tais como a recuperação fecal inferior a 100%, a variação individual entre os animais na excreção dos marcadores e as oscilações na sua concentração nas fezes ao longo do dia, o que pode afetar a exatidão das estimativas obtidas (TITGEMEYER, 1997).

O dióxido de titânio (TiO_2) apresenta-se como um composto inorgânico, sob a forma de um pó branco, seco e finamente particulado (VALENTINI et al., 2012). Destaca-se por ser quimicamente inerte, termicamente estável, inodoro e insolúvel em água. Além disso, possui baixo custo e demonstra elevada estabilidade química e à luz, mantendo suas propriedades em ampla faixa de pH (VALENTINI et al., 2012). Por essas propriedades, o TiO_2 tem se mostrado uma alternativa viável ao óxido crômico como indicador externo em ensaios de digestibilidade, apresentando comportamento semelhante no trato gastrointestinal dos ruminantes e boa acurácia nas estimativas de excreção fecal (VALENTINI et al., 2012).

Diferentemente do óxido crômico, o dióxido de titânio (TiO_2) não possui propriedades carcinogênicas e é considerado seguro pelo Food and Drug Administration (FDA) para uso como aditivo alimentar, sendo amplamente utilizado em produtos destinados ao consumo humano (MYERS et al., 2006; LOPES, 2007). Além disso, não existem restrições quanto ao seu uso em dietas voltadas à alimentação animal (SAMPAIO et al., 2011). Pesquisas indicam que, para obter maior confiabilidade nas estimativas, é necessário realizar um período prévio de adaptação à inclusão do TiO_2 na dieta, que geralmente varia entre cinco e sete dias, permitindo a estabilização de sua excreção fecal (GLINDEMANN et al., 2009; VALENTINI et al., 2012). Além disso, recomenda-se a coleta das fezes por, no mínimo, três dias consecutivos, com a administração do marcador duas vezes ao dia, o que contribui para reduzir a variabilidade na concentração fecal e melhora a precisão dos dados obtidos (FERREIRA et al., 2009; VALENTINI et al., 2012).

A partir da inclusão de indicadores como TiO_2 , torna-se possível avaliar o impacto de diferentes estratégias alimentares sobre a digestibilidade e o aproveitamento dos nutrientes (VALENTINI et al., 2012; FERREIRA et al., 2009). A inclusão de grãos

em quantidades elevadas na dieta de ruminantes tem um efeito considerável sobre a fermentação ruminal e na digestibilidade de nutrientes (BEAUCHEMIN et al., 2008). Dietas ricas em concentrado podem provocar uma diminuição rápida do pH ruminal, tornando-o excessivamente ácido (HOMEM JUNIOR et al., 2010), o que pode prejudicar a atividade microbiana envolvida na degradação de fibras, especialmente em dietas com alta proporção de amido (VAN SOEST, 1994). Contudo, a adição de carboidratos não fibrosos como a polpa cítrica pode auxiliar na preservação da estabilidade do ambiente ruminal, atenuando flutuações do pH (HOMEM JUNIOR et al., 2010).

A granulometria dos grãos desempenha um papel importante para a degradabilidade ruminal, afetando diretamente a digestão e absorção de nutrientes. Segundo Neumann et al. (2022), a redução do tamanho da partícula dos grãos através do processo de moagem amplia a superfície disponível para a ação de bactérias ruminais, favorecendo a degradação dos carboidratos presentes. Esse efeito é especialmente observado nos carboidratos não estruturais, como amido, principais componentes energéticos dos grãos. Portanto, o processamento adequado dos grãos favorece a fermentação ruminal e aprimora a eficácia na digestão dos nutrientes pelos ruminantes.

A digestão dos alimentos ocorre por meio da fermentação ruminal, um processo que envolve uma variedade de microrganismos incluindo fungos, protozoários e bactérias que atuam na digestão de carboidratos, proteínas e lipídios, gerando metabólitos essenciais para o metabolismo animal (MACHADO et al., 2011). Durante esse processo, os carboidratos fermentáveis da dieta são convertidos em ácidos graxos de cadeia curta, como acetato, propionato e butirato, que representam a principal fonte de energia para os ruminantes (KOZLOSKI, 2002).

No entanto, a digestão não se limita ao rúmen (HUNTINGTON, 1997). Frações como a proteína não degradada no rúmen (PNDR), o amido resistente, os lipídios e parte dos minerais seguem para o intestino delgado, onde são degradados pela ação de enzimas endógenas, incluindo proteases, amilases e lipases pancreáticas (HUNTINGTON, 1997). Nesta fase, ocorre a absorção dos produtos resultantes da digestão, sendo o intestino delgado o principal local para a assimilação de aminoácidos, monossacarídeos, ácidos graxos e micronutrientes indispensáveis ao funcionamento fisiológico dos ruminantes (BRANCO et al., 2006).

A fermentação ruminal, além de produzir AGCC também estimula a produção de proteínas microbianas, assim como a produção de vitaminas do complexo B e vitamina K, além da liberação de gases como metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). (RUSSELL; RYCHLIK, 2001). A energia derivada dos AGCC equivale a cerca de 75 a 80% daquela originalmente presente nos carboidratos fermentados, tendo um papel crucial ao fornecer entre 50 e 70% da energia digestível aproveitada pelo ruminante (KOZLOSKI, 2002). Contudo, para os microrganismos presentes no rúmen, esses ácidos graxos são considerados produtos residuais do metabolismo fermentativo (KOZLOSKI, 2002). Durante esse processo, os carboidratos fermentáveis são predominantemente convertidos em ácido acético (60 a 70%), seguido por ácido propiônico (18 a 22%), ácido butírico (13 a 16%) e pequenas porções de ácido valérico (2 a 4%) (TEIXEIRA; TEIXEIRA, 2001).

Os níveis molares de acetato, propionato e butirato mudam de acordo com o tipo de dieta oferecida (GOULARTE et al., 2011). Em regimes alimentares com alto teor de carboidratos fibrosos, essas proporções podem chegar a 75:15:10 (acetato:propionato:butirato), quanto a regimes com alto teor de carboidratos não fibrosos (CNF), as proporções podem ser de 40:40:20 (GOULARTE et al., 2011). O total de AGCC no líquido ruminal pode oscilar entre 60 e 150 mM/ml, refletindo a atividade microbiana e a absorção desses compostos pela parede ruminal. (GOULARTE et al., 2011).

2.3. Enzimas Fibrolíticas

Segundo Varga e Kover (1997), a degradação e o uso de alimentos fibrosos pelos ruminantes estão diretamente relacionadas à atividade enzimática dos microrganismos ruminais, os quais promovem uma hidrólise da parede celular de forragens fibrosas como gramíneas e leguminosas. No entanto, a conversão alimentar de dietas ricas em fibra apresenta baixa eficiência de transformação dos nutrientes em produtos como carne e leite (VARGA; KOVER, 1997). Diante desse desafio, torna-se relevante o desenvolvimento e a aplicação de biotecnologias nutricionais — como enzimas exógenas e aditivos — que visem melhorar a digestibilidade da fibra e, consequentemente, o aproveitamento dos nutrientes pela microbiota ruminal (VARGA; KOVER, 1997).

De acordo com McSweeney et al. (1999) destacam que a melhoria na digestão da fibra a partir da modulação da microbiota ruminal, depende fundamentalmente de quatro fatores: da composição, população de microrganismos capazes de degradar os componentes fibrosos, da sua capacidade de aderência ao substrato fibroso, das interações entre microrganismos degradadores e não degradadores de fibra, e da presença de enzimas eficazes na quebra das ligações estruturais da parede celular vegetal. (McSWEENEY et al., 1999).

Os suplementos enzimáticos utilizados na nutrição de ruminantes são, em geral, composto por combinações de celulasas e xilanases, enzimas originalmente desenvolvidas para aplicações industriais e para uso em dietas de monogástricos, como suínos e aves (BEAUCHEMIN et al., 2003). Além dessas enzimas principais, esses produtos podem incluir atividades enzimáticas complementares, como proteases, amilases e pectinases (BEAUCHEMIN et al., 2003).

As enzimas fibrolíticas exógenas são apontadas como uma estratégia promissora para otimizar o aproveitamento das forragens e potencializar a eficiência produtiva dos ruminantes (BEAUCHEMIN et al., 2002).

Estudos como o de Oliveira et al. (2020) demonstram que a utilização de enzimas fibrolíticas na dieta de ruminantes pode melhorar a degradabilidade de resíduos agroindustriais, como o bagaço de cana de açúcar. Esse efeito ocorre da ação das enzimas sobre as estruturas fibrosas do alimento, facilitando a liberação de nutrientes e, consequentemente promovendo maior atividade microbiana no rúmen, o que resulta no melhor aproveitamento dos componentes da dieta (OLIVEIRA et al., 2020). A eficácia das enzimas exógenas está diretamente relacionada à proporção utilizada na dieta, sendo que quantidades inadequadas tanto em excesso quanto em eficiência podem comprometer os resultados esperados em termos de desempenho digestivo e aproveitamento de nutrientes (BEAUCHEMIN et al., 1995; KUNG Jr. et al., 2000; SOLTAN et al., 2013). Em geral, doses eficazes variam de 0,5 a 2 g/kg de matéria seca para produtos em pó ou de 10 a 40 mL/animal/dia para formulações líquidas, embora a resposta dependa do tipo de enzima, do alimento e do sistema de alimentação utilizado (BEAUCHEMIN et al., 1995; KUNG Jr. et al., 2000; SOLTAN et al., 2013).

2.4. Butirato de Sódio

O butirato em sua forma protonada com sais de sódio apresenta menor custo e maior acessibilidade comparado a outras formas, como o ácido butírico livre, os triglicerídeos de butirato ou formulações microencapsuladas (MALLO et al., 2012). Após sua oferta, os sais de butirato, como o butirato de sódio, dissociam-se em meio aquoso liberando o ânion butirato, que pode então ser absorvido pela mucosa intestinal (MALLO et al., 2012).

No rúmen, o butirato de sódio desempenha um papel essencial como fonte de energia para as células epiteliais do rúmen, ainda que seja amplamente convertido em corpos cetônicos principalmente β -hidroxibutirato, que funcionam como substratos energéticos alternativos e têm papel regulador no desenvolvimento e funcionamento da mucosa ruminal (CAVALERI; BASHAR, 2018). Além disso, ele atua modulando o metabolismo do epitélio ruminal, incluindo a regulação da expressão de proteínas envolvidas na absorção de ácidos graxos de cadeia curta (DENGLER et al., 2015).

Além disso, a administração do butirato influencia diretamente a expressão gênica relacionada à apoptose e à regeneração celular, favorecendo a integridade do epitélio ruminal (KOTUNIA et al., 2004; GUILLOTEAU et al., 2009). Esse efeito favorece o crescimento celular e a recuperação do tecido epitelial, contribuindo para uma maior eficiência absorptiva e saúde ruminal (KOTUNIA et al., 2004; GUILLOTEAU et al., 2009; KOWALSKI et al., 2015).

Estudos experimentais também reforçam esses efeitos benéficos. Liu et al. (2019) observaram que a suplementação com butirato de sódio favoreceu o desenvolvimento de papilas ruminais e aumentou a expressão dos genes ligados à absorção e ao metabolismo de AGCC em cordeiros, o que indica seu potencial para melhorar a eficiência no aproveitamento de nutrientes e promover a saúde intestinal.

De maneira semelhante Górka et al. (2011, 2014) viram que a inclusão de butirato de sódio na dieta sólida de bezerros, promoveu estímulo direto ao crescimento de papilas ruminais, refletindo em maior densidade e tamanho dessas estruturas. Esse desenvolvimento resultou no aumento da área de absorção da mucosa ruminal, favorecendo a disponibilidade de nutrientes para o metabolismo dos animais, o que se traduziu em melhor desempenho zootécnico, evidenciado por maiores taxas de ganho de peso.

3. OBJETIVO

O objetivo neste estudo foi avaliar os efeitos da adição de butirato de sódio ou enzimas fibrolíticas exógenas sobre a digestibilidade total dos nutrientes no rúmen de bovinos Angus alimentados com dietas de alta energia.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Animais e Instalações

O estudo foi conduzido na Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Dracena, no confinamento experimental de bovinos de corte. Foram utilizados 3 animais da raça Angus, castrados, com peso vivo aproximado de 680 kg, 48 meses de idade, e canulados no rúmen. As baias foram parcialmente concretadas, com boa facilidade na circulação do ar e com lotação de 1 animal por baia (72 m² e 6 m linear de cocho por animal), sempre com água à vontade disponível em bebedouro automático (0,90x1,0x2,0 m). O projeto foi previamente aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da UNESP, sob o protocolo nº 08/2019.SP1-CEUA.

4.2. Delineamento Experimental

O delineamento experimental adotado foi o de quadrado latino 3 × 3, duplicado, no qual três animais canulados receberam três dietas diferentes ao longo de três períodos experimentais, de forma alternada. Esse tipo de delineamento permite o controle da variação individual entre os animais e dos efeitos do tempo, aumentando a precisão da comparação entre os tratamentos. O experimento foi repetido em dois blocos (duplicado) para garantir a replicação dos dados. O período experimental foi composto por 28 dias, sendo 14 para fase de adaptação e 14 para fase de terminação. Ao final do período experimental, os animais passaram por um período de 7 dias de *washout*, com acesso a pasto ou feno de Tifton ad libitum e suplementação mineral, visando padronizar a microbiota ruminal e evitar efeitos residuais dos tratamentos.

No período pré experimental os animais foram mantidos no pasto, e durante os períodos experimentais receberam dietas que variaram apenas no tipo de aditivo ofertado seguindo os seguintes tratamentos: Controle, (CON) sem nenhum aditivo; Complexo Enzimático, (ENZ); Butirato de Sódio, (BUT) .

4.3. Manejo, Arraçoamento e Cuidado com os Animais

Conforme mostrado na Tabela 1, as dietas foram formuladas utilizando o LRNS (Large Ruminant Nutrition System), nível 2. A adaptação foi feita em 14 dias e feita no formato *step-up*, que consiste na retirada gradual de volumoso da dieta e aumento do concentrado em mesma proporção, e foi dividida em 3 dietas: 5 dias de dieta de Adaptação 1 (30% de volumoso), 4 dias de dieta de Adaptação 2 (25% de volumoso) e 5 dias de dieta de Adaptação 3 (20% de volumoso). Após adaptados, os animais passaram 14 dias recebendo dieta de terminação, totalizando 28 dias por período experimental.

A dieta de terminação conteve 15% de volumoso. O nível de inclusão do complexo de enzimas fibrolíticas exógenas foi o mesmo entre as dietas de adaptação e terminação (0,01% da matéria seca), enquanto a inclusão de butirato de sódio foi maior durante o período de adaptação (0,3% da matéria seca), em relação a fase de terminação (0,1% da matéria seca). Ambos os aditivos foram incluídos no suplemento mineral, o qual foi misturado na ração no momento do fornecimento da dieta (08:00 da manhã), diretamente no cocho. A quantidade de dieta ofertada teve como base a quantidade de sobras deixadas pelo animal referente ao trato do dia anterior. As sobras foram computadas, coletadas para análises químicas e então descartadas.

Tabela 1. Composição e conteúdo nutricional das dietas experimentais na fase de terminação.

Tratamentos	CON	ENZ	BUT
Nível de Concentrado	85%	85%	85%
Ingredientes (%MS)			
Bagaço de cana	12,00	12,00	12,00
Feno <i>Tifton</i>	3,00	3,00	3,00
Milho fino	71,40	71,40	71,40
Ureia	0,90	0,90	0,90
Complexo Enzimático	-	0,01	-
Butirato de sódio	-	-	0,10
Farelo de Soja	10,40	10,40	10,40
Suplemento Mineral	2,30	2,29	2,20

Conteúdo Nutricional (%MS)	CON	ENZ	BUT
Nutrientes Digestíveis Totais (NDT)	80,00	80,00	80,00
Proteína Bruta (PB)	14,30	14,30	14,30
FDN	22,40	22,40	22,40
peFDN ²	13,00	13,00	13,00
Ca	0,60	0,60	0,58
P	0,44	0,44	0,44

FDN: Fibra em detergente neutro; peFDN²: Fração potencialmente degradável da FDN no rúmen; Ca: Cálcio; P: Fósforo; Con: Controle, sem aditivos; Enz: Enzima fibrolítica; But: Butirato de sódio; MS: Matéria seca.

O aditivo utilizado na suplementação de BUT (ADIMIX® Easy) era compreendido por 68% de ácido butírico e 32% de veículo, enquanto o complexo enzimático utilizado (Rovabio® Advance P) era composto por enzimas endo-1,4- β -xilanase (mínimo de 25000 UV/g) e endo-1,3-glucanase (mínimo de 17200 UV/g), ambos fornecidos pela empresa Adisseo Animal Nutrition.

4.4. Determinação da digestibilidade dos nutrientes por marcador externo

A digestibilidade total dos nutrientes, incluindo matéria seca, proteína bruta, fibras em detergente neutro e ácido, amido da dieta e das fezes foi determinada utilizando o dióxido de titânio como marcador externo (PEZZATO et al., 2002). Entre os dias 15 e 24 dos períodos experimentais, 1g/kg de matéria seca foi administrada via cânula, metade às 08:00 e o restante às 16:00. Entre os dias 20 e 24 foram coletadas amostras de fezes, dietas e sobras. Ao término das coletas, as amostras foram moídas em peneira de 2 mm formando uma amostra composta que representou os 5 dias de coleta por animal. Como resultado, o coeficiente de digestibilidade aparente dos nutrientes foi calculado de acordo com a concentração de dióxido de titânio nas amostras de dieta, sobra e fezes.

As coletas de fezes foram realizadas entre os dias 20 e 24 do período experimental, junto às amostras de dieta e sobras. As fezes foram coletadas diretamente da ampola retal dos animais, armazenadas em sacos plásticos identificados e congeladas a -20 °C. Ao final do período de coleta, as amostras foram descongeladas, secas em estufa de ventilação forçada a 55 °C por 72 horas, moídas em peneira de 2 mm e

homogeneizadas para formar uma amostra composta representativa dos cinco dias de coleta.

4.5. Análises Laboratoriais

As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal da Universidade Estadual Paulista - UNESP campus Jaboticabal. Os teores de matéria seca (MS) e matéria mineral (MM) foram determinados conforme os métodos descritos pela Association of Official Analytical Chemists – AOAC (1995). A proteína bruta (PB) foi analisada por meio do método de Kjeldahl, também segundo a AOAC (1995). As fibras em detergente neutro (FDN) e em detergente ácido (FDA) foram determinadas conforme a técnica proposta por Van Soest et al. (1991). A concentração de amido foi estimada de acordo com a metodologia descrita por Poore et al. (1993), baseada na digestão enzimática. A quantificação do dióxido de titânio nas amostras foi realizada por digestão ácida e leitura espectrofotométrica, conforme o protocolo descrito por Pezzato et al. (2002).

4.6. Análises Estatísticas

Os dados foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA), utilizando o procedimento MIXED do software SAS (2003), adotando-se nível de significância de 5%. O efeito de tratamento foi considerado fixo, enquanto os efeitos de animal e período foram considerados aleatórios. Os pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias foram verificados, e, quando necessário, os dados foram transformados.

5. RESULTADOS

Não foram observadas diferenças estatísticas em relação a digestibilidade da matéria seca, proteína bruta, fibra em detergente ácido e amido ($P > 0.69$), como apresentado na Tabela 2, bem como a concentração de amido nas fezes ($P=0.51$). A digestibilidade de fibra em detergente neutro também não apresentou efeitos de tratamento estatisticamente significativos.

Tabela 2. Digestibilidade total dos nutrientes de bovinos Angus canulados no rúmen em confinamento suplementados com enzimas fibrolíticas exógenas ou butirato de sódio.

	Tratamentos			EPM ³	Valor de <i>P</i>
	CON	ENZ ¹	BUT ²		Tratamento
Matéria seca, %	94,56	94,23	94,36	0,39	0,69
Proteína Bruta, %	82,32	81,69	82,05	1,57	0,94
FDN, %	66,39	59,31	63,8	2,22	0,14
FDA, %	63,63	62,11	63,44	3,21	0,92
Amido, %	95,23	95,97	96,05	1,08	0,83
Amido fecal, %	10,92	7,65	8,9	1,98	0,51

Nota: ¹Enzima Fibrolítica (Rovabio). ²Butirato de Sódio (Adimix). ³Erro Padrão Médio.

6. DISCUSSÃO

Pesquisas sobre o uso de enzimas fibrolíticas exógenas e butirato de sódio na dieta dos ruminantes têm ganhado cada vez mais atenção.

O trabalho de Górka et al. (2011) evidenciou que a forma de fornecimento do butirato de sódio pode interferir diretamente em sua eficácia. Ao comparar a administração via leite e via dieta sólida em bezerros recém-nascidos, os autores observaram que ambas as estratégias estimularam o crescimento das papilas ruminais, mas a via líquida proporcionou resposta mais rápida e intensa, sobretudo nas primeiras semanas de vida. A administração via leite pode facilitar a absorção direta pela mucosa intestinal, permitindo que o butirato exerça efeitos tróficos mais rápidos sobre o epitélio ruminal, mesmo antes da ingestão significativa de alimentos sólidos.

Neste trabalho, o butirato de sódio foi incluído apenas na dieta sólida, sendo fornecido em 0,3% da matéria seca durante o período de adaptação e reduzido para 0,1% na fase de terminação. Não foram observadas diferenças significativas nos coeficientes de digestibilidade dos nutrientes avaliados. Uma possível explicação para esse resultado pode estar relacionada tanto à forma de fornecimento quanto às baixas dosagens utilizadas, além do fato de a dieta controle já apresentar alta digestibilidade (MS > 94%), o que pode ter limitado a observação de melhorias adicionais. Outro ponto importante é o perfil dos animais utilizados: como já estavam em fase final de confinamento e com epitélio ruminal plenamente desenvolvido, o efeito estimulante do

aditivo sobre a absorção de nutrientes pode ter sido menos pronunciado, especialmente considerando que a dose de butirato foi reduzida na fase em que a exigência nutricional era maior.

Estudos anteriores sustentam essa hipótese, como por exemplo, Liu et al. (2019), observaram que a suplementação contínua de butirato de sódio aumentou a expressão de genes relacionados à absorção de ácidos graxos voláteis (AGCC) e ao metabolismo do epitélio ruminal em cordeiros, com efeitos mais evidentes em doses superiores a 0,5% da matéria seca. Embora a administração do aditivo por via líquida tenha mostrado bons resultados em bezerros, essa estratégia não é aplicável em bovinos adultos em confinamento. Nesses casos, formas protegidas, como o butirato microencapsulado, têm sido apontadas como alternativas viáveis. Um bom exemplo é o estudo de Kowalski et al. (2015), que relatou efeitos positivos da inclusão de 2% de butirato de sódio microencapsulado na dieta pré-parto de vacas e touros: houve aumento nas concentrações de AGCC no rúmen, bem como no tamanho das papilas e na espessura da parede ruminal. Esses achados indicam que o butirato protegido tem ação positiva na morfologia ruminal mesmo em dietas sólidas e com volumosos de qualidade variável. No presente estudo, os animais receberam butirato de sódio sem proteção e em baixas doses, o que pode ter limitado os efeitos esperados na digestibilidade.

A dieta de terminação utilizada foi composta por 85% de concentrado e bagaço de cana como volumoso, o que caracteriza uma dieta de alta densidade energética, mas com fibra de baixa qualidade fermentativa, o que exige estratégias nutricionais específicas para otimizar a digestão da fração fibrosa.

Estudos com enzimas fibrolíticas reforçam essa necessidade. A inclusão de enzimas fibrolíticas na alimentação de ruminantes tem sido amplamente estudada como estratégia para melhorar a digestibilidade da fração fibrosa da dieta, especialmente quando se utilizam volumosos com menor valor nutricional. Yang et al. (2024) observaram resultados positivos ao aplicar uma enzima comercial líquida, contendo celulase e xilanase, diretamente na silagem de milho utilizada na dieta de vacas leiteiras. A dosagem, de 0,5 a 1 mL por kg de matéria seca, resultou em aumento na digestibilidade da matéria seca, da FDN e da matéria orgânica. Da mesma forma, Refat et al. (2018) relataram que a adição de enzimas em dietas com silagem de cevada também promoveu ganhos na digestão dos nutrientes e melhorias no comportamento

alimentar dos animais. Em ambos os estudos, as enzimas foram aplicadas diretamente sobre o volumoso antes da formulação da dieta total, o que possivelmente favoreceu o contato com a fibra e aumentou sua eficácia.

No presente experimento, a enzima foi incluída diretamente na formulação da dieta total, junto aos demais ingredientes, sem contato prévio com o bagaço de cana — principal fonte de fibra utilizada. Essa diferença na forma de aplicação pode ter limitado o potencial de ação da enzima, uma vez que o bagaço de cana possui alta lignificação e baixa disponibilidade de substratos para hidrólise. Além disso, a ausência de um tempo de pré-reação com o volumoso pode ter reduzido a eficácia do aditivo. Assim, a falta de diferença significativa nos coeficientes de digestibilidade observada no estudo pode estar relacionada à forma de uso da enzima e às características do volumoso empregado.

A dosagem dos aditivos utilizados pode ter sido um fator limitante para os resultados observados. Estudos como o de Gómez (2011) indicam que seriam necessárias inclusões entre 15 e 30 g/dia para promover um aumento significativo, de até 65%, na digestibilidade do bagaço de cana. Esse valor é superior ao utilizado neste estudo, o que pode justificar, ao menos em parte, a ausência de resposta nos coeficientes de digestibilidade da fração fibrosa da dieta.

Dessa forma, os resultados obtidos sugerem que a resposta aos aditivos avaliados está diretamente ligada ao manejo de sua aplicação, à composição da dieta e às exigências dos animais em determinada fase produtiva. A utilização de uma dieta controle com alta digestibilidade, aliada às baixas dosagens e à forma de fornecimento dos aditivos, pode ter reduzido seu potencial de ação. Assim, futuras pesquisas devem considerar o uso de doses mais elevadas e estratégias de fornecimento que favoreçam maior contato com o substrato-alvo, com o objetivo de potencializar os efeitos desejados sobre a digestão e o aproveitamento dos nutrientes.

7. CONCLUSÃO

Com base nesses resultados, conclui-se que, apesar do crescente interesse no uso de enzimas fibrolíticas (ENZ) e butirato de sódio (BUT) na alimentação de ruminantes, os dados compilados não evidenciaram efeitos significativos sobre a digestibilidade dos nutrientes ou da dieta como um todo. A ausência de respostas expressivas, especialmente em relação à digestibilidade da fração fibrosa, sugere que, nas condições testadas, as doses e tipos de aditivos utilizados não foram suficientes para promover melhorias substanciais.

8. RESUMO

A inclusão de aditivos alimentares como enzimas fibrolíticas e butirato de sódio tem sido apontada como alternativa para otimizar a digestão de bovinos alimentados com dietas de alto concentrado, especialmente no que se refere à degradação da fração fibrosa e ao desenvolvimento do epitélio ruminal. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da adição desses aditivos sobre os coeficientes de digestibilidade aparente dos nutrientes em bovinos da raça Angus mantidos em confinamento. Foram utilizados seis bovinos machos castrados, canulados no rúmen, com peso corporal médio de 690 kg, distribuídos em delineamento quadrado latino 3×3 duplicado, totalizando seis períodos experimentais, compostos por 28 dias cada (sendo 14 dias de adaptação e 14 de terminação), intercalados por 7 dias de washout. Os tratamentos foram: CON) dieta controle, sem aditivos; ENZ) dieta com enzima fibrolítica exógena (0,01% da MS); e BUT) dieta com butirato de sódio (0,3% da MS durante a adaptação e 0,1% da MS durante a terminação). Para estimativa da digestibilidade, foi utilizado o dióxido de titânio como marcador externo, fornecido diretamente no rúmen durante os últimos cinco dias de cada período experimental. As amostras de dieta e fezes foram analisadas quanto aos teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), segundo metodologias laboratoriais descritas pela AOAC. Os dados foram analisados pelo PROC MIXED do SAS (2003), considerando o efeito de tratamento como fixo, e animal e período como efeitos aleatórios. Os resultados não demonstraram diferenças significativas ($P>0,05$) entre os tratamentos nos coeficientes de digestibilidade da MS, PB, FDN e FDA. Dessa forma, conclui-se que, nas condições avaliadas, a inclusão de enzima fibrolítica ou butirato de sódio não promoveu alterações significativas na digestibilidade aparente dos nutrientes. No entanto, ressalta-se que fatores como a dose dos aditivos e a duração de fornecimento podem influenciar os resultados, sendo recomendada a realização de estudos futuros com diferentes protocolos de suplementação.

Palavras-chave: bovinos de corte; aditivos; canulados; dióxido de titânio; rúmen.

9. SUMMARY

The inclusion of feed additives such as fibrolytic enzymes and sodium butyrate has been proposed as an alternative to optimize digestion in cattle fed high-concentrate diets, particularly concerning fiber degradation and ruminal epithelium development. This study aimed to evaluate the effects of these additives on the apparent digestibility coefficients of nutrients in rumen-cannulated Angus steers kept in feedlot conditions. Six rumen-cannulated castrated Angus males, with an average body weight of 690 kg, were assigned to a duplicated 3×3 Latin square design, totaling six experimental periods, each lasting 28 days (14 days of adaptation and 14 days of finishing), interspersed with 7-day washout intervals. The treatments were: CON) control diet without additives; ENZ) diet with exogenous fibrolytic enzyme (0.01% of DM); and BUT) diet with sodium butyrate (0.3% of DM during adaptation and 0.1% during finishing). To estimate digestibility, titanium dioxide was used as an external marker, administered directly into the rumen during the last five days of each period. Diet and fecal samples were analyzed for dry matter (DM), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), and acid detergent fiber (ADF), according to AOAC procedures. Data were analyzed using the PROC MIXED procedure in SAS (2003), with treatment as a fixed effect and animal and period as random effects. No significant differences ($P > 0.05$) were observed among treatments for the digestibility coefficients of DM, CP, NDF, and ADF. Therefore, it is concluded that, under the evaluated conditions, the inclusion of fibrolytic enzyme or sodium butyrate did not significantly affect the apparent digestibility of nutrients. However, it is important to emphasize that factors such as additive dosage and duration of supplementation may influence the outcomes, highlighting the need for further research using different supplementation protocols.

Keywords: beef cattle; additives; cannulated animals; titanium dioxide; rumen.

10. REFERÊNCIAS

ABIEC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE. *Beef Report 2024: Perfil da Pecuária no Brasil.* 2024.

ANDRADE, A. C.; NASCIMENTO JUNIOR, D. *Avaliação da digestibilidade e do consumo de pasto.* 2011.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. *Official methods of analysis.* 16. ed. Washington, D.C.: AOAC, 1995.

BAKER, S. K. Rumen methanogens and inhibition of methanogenesis. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 50, n. 8, p. 1293-1298, 1999.

BALIEIRO, J. C. C. et al. Novos desafios da pesquisa em nutrição e produção animal. 2018.

BEAUCHEMIN, K. A. et al. Mode of action of exogenous cell wall degrading enzymes for ruminants. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 84, p. 13–22, 2003.

BEAUCHEMIN, K. A. et al. Use of exogenous fibrolytic enzymes to improve feed utilization by ruminants. **Journal of Animal Science**, v. 81 (E. Suppl. 2), p. E37–E47, 2002.

BEAUCHEMIN, K. A.; RODE, L. A.; SEWALT, V. J. H. Fibrolytic enzymes increase fibre digestibility and growth rate of steers fed dry forages. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 75, p. 641-644, 1995.

BEAUCHEMIN, K. A. et al. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 48, n. 2, p. 21-27, 2008.

BERNARD, J. B.; ULLREY, D. E.; WOLFF, P. L. Selecting appropriate markers for digestibility studies. In: Proc. 1th Conf. Nutr. Adv. Gr. Of AZA, Toronto, Ontario, Canada. 1995.

BRANCO, A. F. et al. Digestibilidade intestinal verdadeira da proteína de alimentos para ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 1788-1795, 2006.

BÜNZEN, S. et al. Digestibilidade aparente e verdadeira do fósforo de alimentos de origem animal para suínos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 61, p. 903-909, 2009.

CARVALHO, T. B. de; ZEN, S. de. A cadeia de Pecuária de Corte no Brasil: evolução e tendências. **Revista iPecege**, v. 3, n. 1, p. 85-99, 2017.

CAVALERI, F.; BASHAR, E. Potential synergies of β -hydroxybutyrate and butyrate on the modulation of metabolism, inflammation, cognition, and general health. **Journal of Nutrition and Metabolism**, v. 2018, n. 1, p. 7195760, 2018.

CEZAR, I. M. et al. *Sistemas de produção de gado de corte no Brasil: uma descrição com ênfase no regime alimentar e no abate*. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2005.

COELHO DA SILVA, J. F.; LEÃO, M. I. *Fundamentos da nutrição dos ruminantes*. Piracicaba: Livroceres, 1979. 380 p.

CYSNEIROS, C. S. S. et al. Produção, caracterização e avaliação de enzimas fibrolíticas na digestibilidade da forragem de milho. **Ciência Animal Brasileira**, v. 14, p. 426-435, 2013.

DA SILVA, E. I. *Cálculos de consumo e digestibilidade de alimentos e nutrientes para ruminantes*. 2023.

DE FREITAS, P. R. et al. Effect of amylolytic enzymes of the *Aspergillus awamori* on starch digestion in cattle. **Ciência Agrícola**, v. 16, n. 3, p. 27-34, 2018.

DENGLER, F. et al. Both butyrate incubation and hypoxia upregulate genes involved in the ruminal transport of SCFA and their metabolites. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 99, p. 379–390, 2015.

DIJKSTRA, J. et al. Absorption of volatile fatty acids from the rumen of lactating dairy cows as influenced by volatile fatty acid concentration, pH and rumen liquid volume. **British Journal of Nutrition**, v. 69, n. 2, p. 385-396, 1993.

EZEQUIEL, J. M. B. et al. Processamento da cana-de-açúcar: efeitos sobre a digestibilidade, o consumo e a taxa de passagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 5, p. 1704-1710, 2005.

FERREIRA, M. A. et al. Avaliação de indicadores em estudos com ruminantes: digestibilidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 8, p. 1568-1573, 2009.

GLINDEMANN, B. M. et al. Avaliação do dióxido de titânio como indicador utilizado nas estimativas de excreção fecal em ovinos em pastejo. **Animal Feed Science and Technology**, v. 152, p. 186-197, 2009.

GOMES, R. C.; FEIJÓ, G. L. D.; CHIARI, L. Evolução e qualidade da pecuária brasileira. Nota Técnica. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2017.

GOULARTE, S. R. et al. Ácidos graxos voláteis no rúmen de vacas alimentadas com diferentes teores de concentrado na dieta. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 63, p. 1479-1486, 2011.

GÓMEZ, V. A. et al. Influence of fibrolytic enzymes on growth performance and digestion in steers grazing stargrass and supplemented with fermented sugarcane. **Journal of Applied Animal Research**, v. 39, n. 1, p. 77-79, 2011.

GÓRKA, P. et al. Effect of method of delivery of sodium butyrate on maturation of the small intestine in newborn calves. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 2, p. 1026-1035, 2014.

GÓRKA, P. et al. Effect of method of delivery of sodium butyrate on rumen development in newborn calves. **Journal of Dairy Science**, v. 94, n. 11, p. 5578-5588, 2011.

GUILLOTEAU, P. et al. Sodium-butyrate as a growth promoter in milk replacer formula for young calves. **Journal of Dairy Science**, v. 92, n. 3, p. 1038-1049, 2009.

HACKMANN, T. J. New biochemical pathways for forming short-chain fatty acids during fermentation in rumen bacteria. **JDS Communications**, v. 5, n. 3, p. 230-235, 2024.

HOMEM JUNIOR, A. C. et al. Fermentação ruminal de ovinos alimentados com alto concentrado e grãos de girassol ou gordura protegida. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 62, p. 144-153, 2010.

HUNTINGTON, G. B. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. **Journal of Animal Science**, v. 75, n. 3, p. 852-867, 1997.

JUNG, H. G.; ALLEN, M. S. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. **Journal of Animal Science**, v. 73, n. 9, p. 2774-2790, 1995.

KOTUNIA, A. et al. Effect of sodium butyrate on the small intestine. **Journal of Physiology and Pharmacology**, v. 55, n. 2, p. 59-68, 2004.

KOWALSKI, Z. M. et al. Effect of microencapsulated sodium butyrate in the close-up diet on performance of dairy cows in the early lactation period. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 5, p. 3284-3291, 2015.

KOZLOSKI, G. V. *Bioquímica dos ruminantes*. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2002. 139 p.

KUNG JR., L. et al. The effect of treating forages with fibrolytic enzymes on its nutritive value and lactation performance of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 83, p. 115-122, 2000.

LANNA, D. P. D.; ALMEIDA, R. de. A terminação de bovinos em confinamento. **Visão Agrícola**, v. 3, p. 55-58, 2005.

LIU, L. et al. Infusion of sodium butyrate promotes rumen papillae growth and enhances expression of genes related to rumen epithelial VFA uptake and metabolism in neonatal twin lambs. **Journal of Animal Science**, v. 97, n. 2, p. 909-921, 2019.

LOPES, F. C. F. Determinação do consumo de forrageiras tropicais por vacas em lactação em condição de pastejo. **Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia**, v. 52, p. 1-116, 2007.

LOPES, M. A.; MAGALHÃES, G. P. Rentabilidade na terminação de bovinos de corte em condições de confinamento: um estudo de caso em 2003, na região oeste de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 5, p. 1039-1044, 2005.

MACHADO, F. S. et al. *Emissões de metano na pecuária: conceitos, métodos de avaliação e estratégias de mitigação*. 2011.

MALLO, J. J. et al. Evaluation of different protections of butyric acid aiming for release in the last part of the gastrointestinal tract of piglets. **Journal of Animal Science**, v. 90 (Suppl. 4), p. 227–229, 2012.

MARCONDES, T. L.; NETO, A. F. A.; DUARTE, J. Estudo comparativo entre os sistemas de criação intensivo e extensivo de terminação de bovinos nelores por meio da avaliação de índices zootécnicos de um grupo de sócios-produtores do Vale do Paraíba, estado de São Paulo. **Revista Unimar Ciências**, 2020.

MARTINS, A. S. et al. Consumo e digestibilidade aparente total em bovinos sob suplementação com enzimas fibrolíticas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 2118-2124, 2006.

MEDEIROS, S. R. de; GOMES, R. da C.; BUNGENSTAB, D. J. (Ed.). *Nutrição de bovinos de corte: fundamentos e aplicações*. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 176 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1010951/1/NutricaoAnimallivroembaixa.pdf>. Acesso em: 4 fev. 2025.

MILLEN, D. D.; ARRIGONI, M. D. B.; PACHECO, R. D. L. (Ed.). *Rumenology*. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer, 2016. p. 251-273.

MORGAVI, D. P. et al. Synergy between ruminal fibrolytic enzymes and enzymes from *Trichoderma longibrachiatum*. **Journal of Dairy Science**, v. 83, n. 6, p. 1310-1321, 2000.

MORGAVI, D. P. et al. Resistance of feed enzymes to proteolytic inactivation by rumen microorganisms and gastrointestinal proteases. **Journal of Animal Science**, v. 79, n. 6, p. 1621-1630, 2001.

MYERS, W. D. et al. Padrões do dióxido de titânio e óxido de cromo na digesta duodenal e excreção fecal de ovelhas. **Small Ruminant Research**, v. 63, p. 135–141, 2006.

OLIVEIRA, F. M. et al. Degradabilidade *in vitro* do bagaço de cana-de-açúcar com ureia e enzimas fibrolíticas exógenas. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 1956-1971, 2020.

OWENS, F. N. et al. Acidosis in cattle: a review. **Journal of Animal Science**, v. 76, n. 1, p. 275-286, 1998.

PAULO, R. E. C.; RIGO, E. J. Dietas com milho grão inteiro como alternativa em confinamento sem volumoso. **Cadernos de Pós-Graduação da FAZU**, v. 3, 2012.

PEZZATO, L. E. et al. Avaliação de dois métodos de determinação do coeficiente de digestibilidade aparente com a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 4, p. 965-971, 2002.

POORE, M. H. et al. Effect of fiber source and ruminal starch degradability on site and extent of digestion in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 76, p. 2244–2253, 1993.

POZZA, P. C. et al. Digestibilidade ileal aparente e verdadeira de aminoácidos de farinhas de carne e ossos para suínos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, p. 1181-1191, 2004.

REFAT, B. et al. Effect of fibrolytic enzymes on lactational performance, feeding behavior, and digestibility in high-producing dairy cows fed a barley silage–based diet. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 9, p. 7971-7979, 2018.

RICE, E. M. et al. Supplementation of sodium butyrate to postweaned heifer diets: Effects on growth performance, nutrient digestibility, and health. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 4, p. 3121-3130, 2019.

RUSSELL, J. B.; RYCHLIK, J. L. Factors that alter rumen microbial ecology. **Science**, v. 292, n. 5519, p. 1119-1122, 2001.

SAMPAIO, C. B. et al. Evaluation of fecal recovering and long term bias of internal and external markers in a digestion assay with cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 1, p. 174-182, 2011.

SCHNEIDER, B. H.; FLATT, W. P. *The evaluation of feeds through digestibility experiments*. 1975.

SILVESTRE, A. M.; MILLEN, D. D. The 2019 Brazilian survey on nutritional practices provided by feedlot cattle consulting nutritionists. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 50, 2021.

SOLTAN, Y. A. et al. Response of different tropical pasture grass species to treatments with fibrolytic enzymes in terms of *in vitro* ruminal nutrient degradation and methanogenesis. **Animal Nutrition and Feed Technology**, v. 13, p. 551-568, 2013.

TEIXEIRA, J. C.; TEIXEIRA, L. F. A. C. *Princípios de nutrição de bovinos leiteiros*. Lavras: UFLA/FAEP, 2001. 245 p.

TITGEMEYER, E. C. Design and interpretation of nutrient digestion studies. **Journal of Animal Science**, v. 75, n. 8, p. 2235-2247, 1997.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE. 2022. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. Acesso em: 28 jan. 2025.

VALENTINI, P. V. et al. Utilização do dióxido de titânio (TiO₂) como indicador de excreção fecal em estudos de nutrição de ruminantes. **PUBVET**, Londrina, v. 6, n. 17, ed. 204, art. 1366, 2012.

VAN SOEST, P. J. *Nutritional ecology of the ruminant*. Ithaca: Cornell University Press, 1994.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Symposium: Carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 74, n. 10, p. 3583–3597, 1991.

VARGA, G. A.; KOLVER, E. S. Microbial and animal limitations to fiber digestion and utilization. **Journal of Nutrition**, v. 127, p. 819-823, 1997.

YANG, J.; ZHAO, S.; LIN, B. Effect of commercial fibrolytic enzymes application to normal- and slightly lower energy diets on lactational performance, digestibility and plasma nutrients in high-producing dairy cows. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 11, p. 1302034, 2024.