

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS  
Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia



Dissertação

**Suplementação de Vacas Leiteiras com Metionina Rúmen-Protegida**

**Muryllo Botelho Medeiros**

Pelotas, 2025

**Muryllo Botelho Medeiros**

**Suplementação de Vacas Leiteiras com Metionina Rúmen-Protegida**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências.

**Orientador:** Marcio Nunes Corrêa

**Coorientadora:** Eliza Rossi Komninou

Pelotas, 2025

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação da Publicação

M488s Medeiros, Muryllo Botelho

Suplementação de vacas leiteiras com metionina rúmen-protégida [recurso eletrônico] / Muryllo Botelho Medeiros ; Marcio Nunes Corrêa, orientador ; Eliza Kossi Komninou, coorientadora. — Pelotas, 2025.  
41 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 2025.

1. Metionina protegida. 2. Aminoácido. 3. Degradação ruminal. I. Corrêa, Marcio Nunes, orient. II. Komninou, Eliza Kossi, coorient. III. Título.

CDD 636.20884

Elaborada por Ubirajara Buddin Cruz CRB: 10/901

**BANCA EXAMINADORA**

Dr<sup>a</sup>. Mariana Ornaghi (Safeeds Nutrição animal - Pesquisa e Desenvolvimento)

Dr. Uriel Secco Londero (Nupeec Hub – Estágio Pós-Doutoral)

Prof. Dr. Marcio Nunes Corrêa (Orientador, UFPel, Medicina Veterinária)

Para meus avós paternos  
Dedico.

## **Agradecimentos**

A Deus, primeiramente vai minha imensa gratidão pela missão e pelo caminho que fui destinado a seguir.

A minha família, pelo incentivo e apoio, principalmente aos avós paternos, Eva Medeiros e Claudionor Medeiros, que moldaram o meu caráter e incentivaram, desde o princípio a busca pelo estudo, conhecimento e crescimento profissional. Aos meus pais Juliano Medeiros e Priscila Botelho que me trouxeram ao mundo e me apoiam diariamente. Aos meus padrinhos e madrinhas que sempre estiveram ao meu lado, oferecendo todo o respaldo durante toda a minha trajetória.

A todos os amigos e colegas que fizeram parte desta caminhada, desempenhando um papel crucial, de apoio, confiança e fraternidade, permitindo lembranças e momentos que jamais serão esquecidos.

Aos professores e colaboradores do Núcleo de Pesquisa, Ensino e Extensão em Pecuária (NUPEEC), em especial ao meu orientador, Marcio Nunes Corrêa, e à minha coorientadora, Eliza Rossi Komninou, que contribuíram para formar o profissional que serei, abrindo portas e gerando constantes oportunidades, além de exercerem grande influência sobre o meu caráter pessoal.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Muito Obrigado!

## Resumo

MEDEIROS, Muryllo Botelho. **Suplementação de Vacas Leiteiras com Metionina Rúmen-Protegida**. 2025. 41f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

A metionina é um aminoácido essencial para a produção de leite em vacas leiteiras, desempenhando um papel importante no metabolismo e na saúde desses animais. No entanto, sua degradação no rúmen pode comprometer a eficiência da suplementação, limitando seu aproveitamento. Para contornar esse problema, formulações rúmen-protegidas têm sido desenvolvidas e estão disponíveis países, garantindo que a metionina chegue intacta ao intestino delgado, onde é absorvida, incorporada à corrente sanguínea e utilizada pelo organismo. No Brasil, o alto custo desses suplementos ainda restringe a adoção em grande parte dos sistemas de produção leiteira. Diante disso, produtos nacionais começam a ser desenvolvidos, porém necessitando de validação científica quanto eficácia da proteção ruminal, absorção e impactos positivos no desempenho animal. Este trabalho tem como objetivo revisar a importância da metionina na nutrição de vacas leiteiras e apresentar os resultados de um estudo que avaliou os efeitos da suplementação de metionina rúmen-protegida. Para o estudo, foram utilizadas 20 vacas da raça Holandesa, selecionadas por critérios de semelhança, distribuídas em dois grupos: Tratamento (TRAT), suplementado com 30 g/dia de metionina protegida comercial, e controle (CON), sem suplementação. Ambos os grupos receberam a mesma dieta e foram ordenhados duas vezes ao dia. Semanalmente, foram realizadas coletas de sangue para análise dos níveis de metionina no plasma, além da pesagem corporal e da medição da produção de leite. Os resultados demonstraram que os níveis plasmáticos de metionina não diferiram entre os grupos ( $p>0,05$ ). Entretanto, o grupo TRAT apresentou maior produção de leite em comparação ao controle ( $p<0,01$ ) e maior ganho de peso corporal ( $p<0,01$ ). Embora os níveis plasmáticos de metionina não tenham diferido entre os grupos, os benefícios observados no desempenho produtivo permitem concluir que a metionina protegida da degradação ruminal foi eficaz em sua função, tendo contribuído para o aumento da produção de leite e do ganho de peso em vacas leiteiras em meio de lactação, sendo importante consolidar esses achados para ampliar o uso dessa tecnologia no Brasil.

**Palavras-chave:** Metionina protegida, Aminoácido, Degradação Ruminal.

## **Abstract**

MEDEIROS, Muryllo Botelho. **Supplementation of Dairy Cows with Rumen-Protected Methionine**. 2025. 41p. Dissertation (Master) - Graduate Program in Biotechnology. Federal University of Pelotas, Pelotas.

Methionine is an essential amino acid for milk production in dairy cows, playing an important role in the metabolism and health of these animals. However, its degradation in the rumen can compromise the efficiency of supplementation, limiting its utilization. To overcome this issue, rumen-protected formulations have been developed and are available in several countries, ensuring that methionine reaches the small intestine intact, where it is absorbed, incorporated into the bloodstream, and utilized by the body. In Brazil, the high cost of these supplements still limits their adoption in much of the dairy production systems. In this context, national products are beginning to be developed, but they require scientific validation regarding the efficacy of ruminal protection, absorption, and positive impacts on animal performance. This study aims to review the importance of methionine in dairy cow nutrition and present the results of a study that evaluated the effects of rumen-protected methionine supplementation. For the study, 20 Holstein cows were selected based on similar criteria and divided into two groups: Treatment (TRAT), supplemented with 30 g/day of commercial protected methionine, and Control (CON), with no supplementation. Both groups were fed the same diet and milked twice a day. Weekly, on days 0, 7, 14, 21, and 28, blood samples were collected to analyze plasma methionine levels, along with body weight measurements and milk production. The results showed that plasma methionine levels did not differ between groups ( $p>0.05$ ). However, the TRAT group showed higher milk production compared to the control ( $p<0.01$ ) and greater body weight gain ( $p<0.01$ ). Although plasma methionine levels did not differ between groups, the observed benefits in productive performance allow us to conclude that rumen-protected methionine was effective in its function, contributing to increased milk production and weight gain in mid-lactation dairy cows. It is important to consolidate these findings to expand the use of this technology in Brazil.

**Keywords:** Protected methionine, Amino acid, Rumen degradation.

## Lista de Figuras

|                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> Níveis plasmáticos de metionina ( $\mu\text{mol/L}$ ) de vacas da raça Holandês suplementadas com metionina rúmen-protegida ao longo de 28 dias. .... | 24 |
| <b>Figura 2</b> Produção de leite (L) de vacas da raça Holandês suplementadas com metionina rúmen-protegida ao longo de 28 dias. ....                                 | 25 |
| <b>Figura 3</b> Peso corporal (kg) de vacas da raça Holandês suplementadas com metionina rúmen-protegida ao longo de 28 dias. ....                                    | 28 |

## Lista de Tabelas

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> Análise bromatológica da dieta total (TMR) ofertada durante o período experimental..... | 23 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## **Lista de Abreviaturas**

AAs - Aminoácidos

BEN - Balanço Energético Negativo

DEL - Dias em Lactação

NH<sub>2</sub> - Grupo Amina

NH<sub>3</sub> - Amônia

TMR - Total Mixed Ration (Ração Total Misturada)

JAK2 - Janus Quinase 2

STAT5 - Signal Transducer and Activator of Transcription 5 (Transdutor de Sinal e Ativador de Transcrição 5)

mTOR - Mammalian Target of Rapamycin (Alvo mecanístico da Rapamicina)

## Sumário

### Sumário

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO GERAL .....                               | 12 |
| 2. HIPÓTESE E OBJETIVOS.....                            | 13 |
| 2.1 Hipótese.....                                       | 13 |
| 2.2 Objetivo Geral.....                                 | 13 |
| 2.3 Objetivos Específicos.....                          | 14 |
| 3. CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....              | 14 |
| 3.1 Metabolismo Ruminal de Proteínas e Aminoácidos..... | 14 |
| 3.2 O Aminoácido Metionina.....                         | 17 |
| 3.3 Nutrientes Rúmen-protegidos .....                   | 18 |
| 4. CAPÍTULO 2 – MANUSCRITO .....                        | 19 |
| 4.1 Introdução.....                                     | 20 |
| 4.2. Metodologia .....                                  | 22 |
| 4.2.1 Local e instalações.....                          | 22 |
| 4.2.3 Dietas, Alojamento e manejo .....                 | 23 |
| 4.2.4 Coletas de dados e de amostras.....               | 23 |
| 4.2.5 Análise estatística .....                         | 24 |
| 4.3. Resultados e Discussão .....                       | 24 |
| 4.4. Conclusão.....                                     | 29 |
| 4.5. Referências.....                                   | 29 |
| 5. CONCLUSÃO GERAL.....                                 | 33 |
| Anexo A.....                                            | 41 |

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A bovinocultura no Brasil destaca-se no agronegócio, posicionando o país como o segundo maior rebanho mundial, com 214,5 milhões de bovinos, segundo dados da CONAB (2022). No segmento leiteiro, o país ocupa a terceira posição mundial na produção de leite e detém o segundo maior rebanho ordenhado (FAO, 2023). No terceiro trimestre de 2022, foram produzidos 6,1 milhões de litros de leite, o que reflete a importância do setor (IBGE, 2022).

A produção animal atual é marcada pela aplicação de tecnologias, que permitem uma melhor compreensão dos sistemas produtivos, bem como a implementação de estratégias para aumentar a produtividade e a rentabilidade (LIMA et al., 2020). Na pecuária leiteira, em particular, o progresso genético tem impulsionado a produção individual de leite por vaca, o que resulta em maiores exigências nutricionais para manutenção, crescimento, reprodução e lactação (WANG et al., 2019). Com o aumento dessas exigências, torna-se essencial adotar estratégias mais precisas e eficientes no manejo nutricional dos animais, a fim de atender a essas necessidades de forma eficaz.

Nesse cenário, a nutrição de precisão torna-se fundamental, pois busca maximizar a eficiência alimentar por meio do fornecimento adequado, mas não excessivo, de nutrientes, garantindo que as exigências dos animais sejam atendidas sem desperdícios (CHASE & FORTINA, 2023). Entre as estratégias utilizadas para otimizar essa abordagem, destaca-se o uso de suplementos rúmen-protégidos, que permitem uma absorção mais eficiente dos nutrientes essenciais, minimizando perdas e potencializando o desempenho animal (ZANTON&TOLEDO, 2024).

Em sua maioria, os suplementos rúmen-protégidos são produzidos no exterior, o que eleva os custos e a dependência de importações, limitando sua adoção em larga escala na pecuária nacional. Recentemente, algumas empresas brasileiras têm investido no desenvolvimento dessas tecnologias. No entanto, é essencial que as inovações sejam cientificamente validadas, garantindo que os suplementos desenvolvidos apresentem resistência ruminal adequada, sejam efetivamente absorvidos e comprovem benefícios no desempenho animal (SÜDEKUM et al., 2004).

Entre os suplementos rúmen-protégidos mais estudados mundialmente, destaca-se a metionina, um aminoácido essencial amplamente utilizado em países como os Estados Unidos para melhorar o desempenho produtivo de vacas leiteiras

(HUANG et al., 2023; KHAN et al., 2023; WEI et. al., 2022). Comercializada por diferentes marcas reconhecidas globalmente e respaldada por estudos científicos, sua suplementação no pós-parto está associada ao aumento do consumo de matéria seca, maior produção de leite e melhoria nos teores de gordura e proteína do leite (WEI et. al., 2022).

A metionina é um aminoácido essencial que desempenha um papel crucial na síntese de proteínas e no equilíbrio energético das vacas leiteiras, especialmente durante a lactação, quando suas necessidades aumentam ((PINOTTI et al., 2002; BROSNAN E BROSNAN, 2006). A suplementação de metionina, particularmente na forma protegida, assegura sua passagem pelo rúmen, permitindo uma absorção eficiente no intestino e proporcionando benefícios como maior produção de leite e melhoria na composição do leite (HUANG et al., 2023; KHAN et al., 2023).

Diante disso, é crescente interesse de empresas nacionais em desenvolver alternativas viáveis, validar sua eficácia torna-se essencial para consolidar sua aplicabilidade no setor. Nesse contexto, este estudo busca investigar os efeitos de uma metionina rúmen-protegida comercial produzida no Brasil, tanto nos níveis plasmáticos do nutriente quanto no desempenho produtivo de vacas em lactação.

## **2. HIPÓTESE E OBJETIVOS**

### **2.1 Hipótese**

A suplementação com a metionina protegida comercial desenvolvida no Brasil aumenta a disponibilidade do nutriente para o metabolismo animal, impactando positivamente o desempenho produtivo de vacas leiteiras.

### **2.2 Objetivo Geral**

Este estudo tem como objetivo determinar os efeitos da suplementação com metionina rúmen-protegida produzida no Brasil sobre os níveis plasmáticos do nutriente, a produção de leite e o ganho de peso em vacas leiteiras em lactação.

### **2.3 Objetivos Específicos**

- Revisar a literatura sobre suplementação com metionina rúmen-protégida em vacas leiteiras e seus efeitos metabólicos e produtivos;
- Determinar a concentração plasmática de metionina em vacas leiteiras suplementadas com metionina rúmen-protégida;
- Analisar os efeitos da suplementação sobre a produção de leite e peso corporal dos animais.

## **3. CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **UTILIZAÇÃO DA METIONINA RÚMEN-PROTEGIDA NA ALIMENTAÇÃO DE BOVINOS**

#### **3.1 Metabolismo Ruminal de Proteínas e Aminoácidos**

As proteínas são nutrientes de alto custo na dieta de ruminantes, que além de serem essenciais desempenham um papel importante no metabolismo de outros elementos nutricionais, e influenciam diretamente o ganho de peso e a produção (ROTTA et al., 2016). Elas são compostas por aminoácidos (AAs) e desempenham diversas funções biológicas fundamentais, incluindo papéis estruturais, enzimáticos e regulatórios, participando da expressão e modulação da informação genética (TESSARI et al., 2022). Para vacas leiteiras, os aminoácidos são classificados em dois grupos principais: os não essenciais, que são sintetizados pelo próprio organismo, e os essenciais, que precisam ser obtidos por meio da dieta, pois não são produzidos pelos animais (VRISMAN, 2013). Entre os aminoácidos essenciais estão arginina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, fenilalanina, treonina, triptofano, valina e metionina.

Nos ruminantes, o metabolismo proteico ocorre de maneira diferenciada devido à fermentação ruminal, que atua como um processo de pré-digestão, variando de acordo com a fonte de proteína. Já a digestão ácida e a absorção de AAs ocorrem,

respectivamente, no abomaso e no intestino delgado (SANTOS, 2016). Assim, a composição e o perfil de aminoácidos da dieta afetam diretamente a eficiência do processo digestivo (ARAUJO et al., 2019).

Os modelos nutricionais para a alimentação de gado leiteiro evoluíram ao longo do tempo, passando de sistemas simples, baseados apenas na proteína bruta, para abordagens mais complexas que consideram o local de degradação da proteína e sua utilização pelo animal (NRC, 2001). Nos ruminantes, a proteína ingerida na dieta é classificada em duas frações: a proteína não degradável no rúmen (PNDR) e a proteína degradável no rúmen (PDR) (WANG et al., 2019). A PNDR, não sofre degradação microbiana no rúmen, passando intacta para o abomaso, onde é degradada, liberando os AAs que são posteriormente absorvidos no intestino delgado. Por outro lado, a PDR é fermentada e degradada diretamente no rúmen pelos microrganismos ruminais, sendo composta por proteína verdadeira e nitrogênio não proteico (NNP). Esses compostos são convertidos em amônia, peptídeos e AAs, que são utilizados pelos microrganismos para o crescimento e a síntese de proteína microbiana (WANG et al., 2019).

Segundo Van Soest (1994) e Robinson et al., (2005 e 2006), o perfil de AAs proveniente das proteínas dietéticas nos ruminantes tem pouca semelhança com o perfil de AAs que chega ao duodeno para a absorção. Isso ocorre principalmente porque cerca de 60% da proteína dietética é degradada pelos microrganismos ruminais, ou seja, a PDR, sendo convertida em proteína microbiana.

A síntese de proteína microbiana no rúmen é uma das principais fontes de proteína que chega ao intestino delgado, representando entre 50% e 80% da proteína absorvível (STORM E ØRSKOV, 1983). De acordo com Schwab & Broderick (2017), a proteína microbiana é composta por uma mistura de bactérias, fungos e protozoários, que se multiplicam no rúmen por meio da fermentação ruminal e fluem naturalmente para o restante do trato gastrointestinal dos ruminantes. Atualmente, mais de 200 espécies de bactérias e mais de 20 espécies de protozoários foram identificadas no rúmen como microrganismos comensais, dessa forma, o alto volume de microrganismos ruminais, afirma sua contribuição para o suprimento proteico dos animais na forma de proteína microbiana (SCHWAB & BRODERICK, 2017).

Dessa forma, a combinação de fatores, como a alta degradação ruminal das proteínas e a significativa contribuição da proteína microbiana resultante da

fermentação ruminal gera uma grande variabilidade no perfil de aminoácidos absorvidos no intestino. Essa variabilidade dificulta a garantia de que aminoácidos essenciais estejam disponíveis em quantidades suficientes no intestino para a absorção, o que pode impactar a eficiência produtiva dos ruminantes (ROBINSON, 2010).

Ademais, durante a degradação da PDR, a proteína ingerida é colonizada pelos microrganismos ruminais, que a quebram em AAs. Estes AAs, por sua vez, são desaminados, separando o grupo amina ( $\text{NH}_2$ ) do radical da proteína, o que resulta na formação de amônia ( $\text{NH}_3$ ). A amônia gerada é então utilizada pelos microrganismos como fonte de nitrogênio para a síntese de suas próprias proteínas (CASTILLO et al., 2000; LOBLEY et al., 2000). O equilíbrio entre a degradação proteica no rúmen e a eficiência de utilização do nitrogênio pelos microrganismos ruminais é crucial para otimizar o aproveitamento do nitrogênio da dieta e minimizar as perdas desse nutriente (TAMMINGA, 1996). Quando a quantidade de amônia no rúmen excede a capacidade de metabolização dos microrganismos, o excedente é absorvido pela corrente sanguínea e convertido em ureia no fígado. A ureia pode então ser excretada pela urina e pelo leite (YAN et al., 2006), contribuindo para a perda de nitrogênio. Todo esse processo contribui para que a composição dos AAs disponíveis para o animal absorver seja diferente do fornecido através da dieta Robinson et al., (2005 e 2006).

Além disso, degradação ruminal excessiva do nitrogênio protéico leva à excreção de ureia, e, conseqüentemente nitrogênio, agravando o impacto ambiental, conforme apontado por Van Den Bossche et al. (2023). O excesso de nitrogênio no ambiente está frequentemente associado à poluição e à eutrofização de corpos d'água, além de ser uma das causas da acidificação dos ecossistemas aquáticos (CASTILLO et al., 2000; LOBLEY et al., 2000). Além dos problemas ambientais, altos níveis de ureia no plasma podem comprometer a qualidade e o rendimento industrial do leite (ZHAO et. al., 2025). Do ponto de vista reprodutivo, concentrações elevadas de ureia no organismo estão associadas à redução da fertilidade, afetando a taxa de concepção e o desenvolvimento embrionário precoce, possivelmente devido a alterações no ambiente uterino e na viabilidade dos embriões (CHENG et al., 2015).

### 3.2 O Aminoácido Metionina

A metionina é um dos aminoácidos essenciais mais limitantes na nutrição de vacas leiteiras em lactação (SÜDEKUM et al., 2004). Estudos de Xiao et al. (2011) demonstram que, quando a oferta de um único aminoácido na glândula mamária é insuficiente, a síntese de proteína do leite é comprometida. No entanto, embora a deficiência de AAs prejudique a produção, a suplementação não-protégida pode resultar na degradação excessiva no rúmen aumentando a conversão de AAs em ureia, que é excretada principalmente pela urina. Esse processo reduz a eficiência da utilização proteica e contribuindo para a perda de nutrientes e maior impacto ambiental (SEYYEDIN, 2017; BAI et al., 2020).

Sendo o único aminoácido essencial sulfurado (que contém enxofre), a metionina também atua como precursora de outros aminoácidos sulfurados, como cisteína, homocisteína e taurina, desempenhando funções metabólicas cruciais no organismo (BROSNAN E BROSNAN, 2006). Além de sua função estrutural, a metionina tem um papel importante no metabolismo animal, participando da síntese de compostos imunológicos, como citocinas inflamatórias, e agindo como antioxidante (HUANG et al., 2023; KHAN et al., 2023). Essa importância torna-se ainda maior em condições de estresse, como no período de transição ou durante estresse térmico, quando a demanda por antioxidantes aumenta significativamente (KHAN et al., 2023).

Ademais, a metionina é um doador universal de grupos metil em mamíferos, desempenhando um papel essencial em diversas funções biológicas. Ela é o principal precursor da colina, que também funciona como um importante doador de grupos metil e é necessária para a síntese de compostos chave, como fosfatidilcolina e carnitina nos tecidos (PINOTTI et al., 2002). Esse balanço positivo de doadores de grupos metil é particularmente crucial em vacas em lactação, pois o leite é rico em compostos metilados, e seus níveis são mantidos às custas das reservas hepáticas desses compostos (PINOTTI et al., 2002).

A suplementação adequada de metionina melhora a eficiência proteica e reduz a excreção de nitrogênio, contribuindo para a mitigação de impactos ambientais (AYYAT et al., 2021; WANG et al., 2023). A quantidade de metionina disponível na dieta varia conforme os ingredientes utilizados, sendo necessária sua suplementação em dietas à base de soja, algodão, silagem de milho e alfafa, comumente utilizadas na alimentação de vacas leiteiras, mas apresentam baixa concentração desse

aminoácido (WEI et al., 2022). Para evitar sua degradação ruminal e garantir sua absorção, a suplementação com metionina protegida contra a degradação ruminal tem se mostrado eficiente, pois aumenta sua biodisponibilidade no intestino delgado, onde é de fato absorvida (BACH E STERN, 2000).

### **3.3 Nutrientes Rúmen-protegidos**

A degradação de nutrientes no rúmen pode comprometer sua disponibilidade para os ruminantes, além de resultar em desperdício nutricional. Para otimizar a nutrição, especialmente durante períodos de alta demanda metabólica, nutrientes protegidos ou *bypass* são empregados com o objetivo de aumentar a eficiência alimentar na produção animal (SARKAR et al., 2022).

Abordagens vêm sendo aplicadas para garantir que nutrientes importantes cheguem diretamente ao intestino para absorção, evitando a degradação no rúmen (GANAI et al., 2019). Inicialmente, o foco estava nas proteínas dietéticas, devido ao seu elevado custo na dieta dos ruminantes. Contudo, nos últimos anos, outros nutrientes como gorduras, vitaminas, aminoácidos e probióticos também passaram a ser fornecidos de forma a otimizar a produtividade (LARA et al., 2006; ROBINSON, 2010).

A tecnologia de encapsulação, um dos métodos mais promissores para esse fim, envolve a proteção de compostos bioativos dentro de uma matriz, permitindo sua liberação controlada no intestino, onde ocorre sua absorção (MEHTA et al., 2017). Segundo Garba et al. (2023), essa estratégia tem potencial para melhorar a entrega de nutrientes essenciais, otimizando o desempenho alimentar e o bem-estar dos ruminantes. Além de evitar a degradação ruminal, a encapsulação reduz o desperdício de nutrientes e minimiza o impacto ambiental causado pela excreção de compostos como o nitrogênio (ADINEH et al., 2020).

Ao proteger nutrientes sensíveis, como vitaminas, essa abordagem garante que eles passem intactos pelo rúmen e sejam liberados em pontos específicos do trato digestivo, promovendo maior absorção e eficiência alimentar (NOCEK, 2017; TAGHVAEI et al., 2021). Como resultado, a biodisponibilidade dos nutrientes é aumentada, levando a menor excreção ambiental, além de maior ganho de peso e produção de leite Gupta et al. (2021), Hadjipanayiotou (2000), Hosseini et al. (2020), citados por Garba et al. (2023).

#### 4. CAPÍTULO 2 – MANUSCRITO

A ser submetido à revista Livestock Science.

##### **Resposta produtiva de vacas leiteiras à suplementação com metionina rúmen- protegida produzida no Brasil**

Muryllo Botelho Medeiros<sup>1\*</sup>, Rafaela Ortiz Zitzke<sup>1</sup> Noéliton Freitas dos Santos<sup>1</sup>, Mário Toyo Vieira<sup>1</sup>, Miriely Amâncio, Eliza Rossi Komninou<sup>1</sup>, Marcio Nunes Corrêa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas, Núcleo de Pesquisa, Ensino e Extensão em Pecuária- NUPEEC HUB, Avenida Eliseu Maciel, S/N, 96160-000, Campus Capão do Leão, Capão do Leão. Rio Grande do Sul, Brasil

##### **Resumo**

Este estudo avaliou, pela primeira vez, os efeitos da suplementação com uma metionina rúmen-protegida desenvolvida no Brasil sobre os níveis plasmáticos do nutriente, a produção de leite e o peso corporal de vacas leiteiras em meio de lactação. Vinte vacas Holandesas foram distribuídas aleatoriamente entre dois grupos: Tratamento (TRAT), suplementado com 30 g/dia (15 g/dia do princípio ativo DL-metionina) de metionina rúmen-protegida comercial e Controle (CON), sem suplementação. Ambos os grupos receberam a mesma dieta e foram ordenhados duas vezes ao dia. O produto, composto por 50% de DL-Metionina, foi administrado individualmente por 28 dias, uma vez ao dia, diretamente no alimento (*top-dress*) durante a refeição da tarde. Semanalmente, nos dias 0, 7, 14, 21 e 28, foram realizadas coletas de sangue para análise dos níveis plasmáticos de metionina, além do monitoramento do peso corporal e da produção de leite. A análise estatística foi conduzida utilizando o procedimento PROC MIXED no software JMP Pro 17, considerando os efeitos de grupo, dia de coleta e sua interação, com significância estabelecida em  $P < 0,05$ . Os níveis plasmáticos de metionina não diferiram entre os grupos ( $p > 0,05$ ). No entanto, a suplementação resultou em maior produção de leite no grupo TRAT em comparação ao grupo CON ( $36,12 \pm 0,60$  L/dia  $\pm$  vs.  $33,43 \pm 0,58$  L/dia) ( $p < 0,01$ ) e maior peso corporal ( $665,44 \pm 5,95$  kg vs.  $628,40 \pm 5,95$  kg) ( $p < 0,01$ ) respectivamente. Dessa forma, metionina rúmen-protegida melhorou a produção de

leite e o peso corporal das vacas, apesar de não alterar os níveis plasmáticos do nutriente.

**Palavras-chave:** Aminoácido, degradação ruminal, Metionina protegida

### **Abstract**

This study evaluated, for the first time, the effects of supplementation with a rumen-protected methionine developed in Brazil on plasma levels of the nutrient, milk production, and body weight of mid-lactation dairy cows. Twenty Holstein cows were randomly assigned to two groups: Treatment (TRAT), supplemented with 30 g/day (15 g/day of the active ingredient DL-methionine) of commercial rumen-protected methionine and Control (CON), without supplementation. Both groups received the same diet and were milked twice a day. The product, composed of 50% DL-methionine, was administered individually for 28 days, once a day, directly into the feed (top-dress) during the afternoon meal. Weekly, on days 0, 7, 14, 21, and 28, blood samples were collected to analyze plasma methionine levels, in addition to monitoring body weight and milk production. Statistical analysis was conducted using the PROC MIXED procedure in JMP Pro 17 software, considering the effects of group, day of collection, and their interaction, with significance set at  $P < 0.05$ . Plasma methionine levels did not differ between groups ( $p > 0.05$ ). However, supplementation resulted in higher milk production in the TRAT group compared to the CON group ( $36.12 \pm 0.60$  L/day vs.  $33.43 \pm 0.58$  L/day) ( $p < 0.01$ ) and greater body weight ( $665.44 \pm 5.95$  kg vs.  $628.40 \pm 5.95$  kg) ( $p < 0.01$ ). Thus, rumen-protected methionine improved milk production and body weight in cows, despite not altering plasma methionine levels.

**Keywords:** Amino acid, ruminal degradation, protected methionine

## **4.1 Introdução**

Em ruminantes, a fração proteica do alimento ingerido pelos animais é dividida em proteína degradável no rúmen (PDR) e proteína não degradável no rúmen (PNDR) (SAVARI et al., 2018). A PDR é a fração da proteína que, ao chegar ao rúmen, é degradada pelos microrganismos ruminais, enquanto a PNDR é a fração que escapa

dessa degradação e segue para o intestino. A eficiência da utilização dessas frações afeta diretamente a produção de leite e dos seus constituintes, sendo a proteína um dos principais ingredientes na dieta de ruminantes. Além disso, devido ao seu custo elevado, a proteína exerce grande influência sobre os custos totais de produção, representando um fator crítico na gestão econômica das propriedades leiteiras (WU E SATTAR, 2000).

As proteínas são compostas por aminoácidos, que desempenham papéis fundamentais no metabolismo dos ruminantes. Dentre esses, a metionina se destaca por ser um aminoácido essencial, ou seja, que não é sintetizado pelos bovinos, e, portanto, depende exclusivamente da ingestão pela dieta (SCHWAB et al., 1975; KIN & LEE, 2021). Esse nutriente é particularmente importante em períodos críticos para os animais, como nas vacas leiteiras em transição, devido aos seus efeitos benéficos, como a proteção contra o estresse oxidativo, que ocorre quando a produção de radicais livres supera a capacidade antioxidante natural do animal (KHAN et al., 2023). A suplementação com metionina tem sido associada ao aumento na produção de leite (BACH E STERN, 2000; HUANG et al., 2023), pois está diretamente envolvida na síntese de proteínas, incluindo as proteínas do leite.

A metionina é frequentemente um aminoácido limitante nas dietas padrão para a produção de leite, devido aos baixos níveis presentes nas formulações mais comuns, o que pode comprometer o desempenho produtivo dos animais (SÜDEKUM et al., 2004; WEI et al., 2022). Após a ingestão, a metionina é parcialmente degradada no rúmen, onde o grupo amina ( $-NH_2$ ) é liberado e pode ser convertido em amônia ( $NH_3$ ) pelos microrganismos para a síntese de proteínas (FIRKINS et al., 2007; Tan et al., 2021). Embora esse processo contribua para a produção de proteína microbiana, isso altera o perfil de aminoácidos que chega ao intestino delgado, reduzindo a quantidade disponível para o animal. O excesso de amônia, quando não utilizado, é absorvido e excretado na urina como ureia, gerando perdas econômicas através do mal aproveitamento do nitrogênio e impactos ambientais (PRESTEGAARD-WILSON et al., 2021; CASTILLO et al., 2000).

Como alternativa, a utilização de uma proteção contra a degradação ruminal pode aumentar a biodisponibilidade da metionina para absorção no intestino delgado (BACH E STERN, 2000). Sem essa proteção, a eficiência do nutriente é reduzida, já que apenas uma parte da quantidade fornecida chega ao intestino para ser absorvida.

Além disso, a proteção ruminal de aminoácidos, como a metionina, diminui a conversão de nitrogênio em amônia no rúmen, o que ajuda a reduzir a excreção excessiva de compostos nitrogenados para o meio ambiente (BACH E STERN, 2000).

Uma forma de avaliar os efeitos da suplementação com formulações rúmen-protegidas sobre a biodisponibilidade do nutriente suplementado é a abordagem de resposta produtiva. Essa abordagem, como discutido por Fleming et al. (2019) e Schwab et al. (2001), baseia-se na relação entre os níveis do nutriente no organismo e as melhorias observadas na produção de leite, composição do leite e ganho de peso. Embora métodos de quantificação de biodisponibilidade, como a medição direta de concentrações plasmáticas, sejam úteis, a resposta produtiva oferece uma avaliação mais abrangente e funcional da disponibilidade real do nutriente no organismo, considerando também a interação entre o nutriente, o metabolismo ruminal e a absorção intestinal.

Diante disso, o objetivo do presente estudo foi determinar os efeitos de uma metionina rúmen-protegida comercial sobre os níveis plasmáticos do nutriente, produção de leite e peso corporal de vacas leiteiras em meio de lactação.

## **4.2. Metodologia**

O presente estudo, bem como os seus respectivos procedimentos experimentais, foi aprovado pelo Comitê de Ética e Experimentação Animal da Universidade Federal de Pelotas sob o número 23110.000966/2025 - 61.

### **4.2.1 Local e instalações**

O estudo foi conduzido em uma propriedade comercial leiteira localizada no município de Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. Durante período experimental, as vacas foram mantidas em um sistema de confinamento tipo *free-stall*, com acesso à água e alimento *ad libitum*. As ordenhas eram realizadas duas vezes ao dia, às 06h e 17h.

### **4.2.2 Desenho experimental**

O experimento teve duração de 28 dias, sendo utilizadas 20 vacas multíparas da raça Holandesa, com produção de leite média de 34,1 litros/dia, média de 112 dias em lactação (DEL) e peso médio inicial de 637,75 kg. As vacas foram divididas em

dois grupos: Grupo Tratamento (TRAT; n=10), suplementado com 30 g/animal/dia de metionina protegida contra a degradação ruminal comercial, sendo essa quantidade de produto correspondente a 15g do princípio ativo DL-Metionina; e Grupo Controle (CON; n=10), que não recebeu suplementação.

#### 4.2.3 Dietas, Alojamento e manejo

Os animais foram alojados em uma área exclusiva dentro do sistema *free-stall* e alimentados duas vezes ao dia, após as ordenhas. A dieta fornecida era dieta mista, composta por silagem de milho, silagem de trigo, grão úmido de milho, pré-secado de aveia, trevo persa, azevém e concentrado comercial. A avaliação da composição bromatológica da dieta dos animais foi realizada no Laboratório de Nutrição Animal do Núcleo de Pesquisa, Ensino e Extensão em Pecuária (Universidade Federal de Pelotas, Brasil) (Tabela 1).

Tabela 1 Análise bromatológica da dieta total (TMR) ofertada durante o período experimental.

Bromatologia da Dieta.

| Grupo      | MS <sup>1</sup> | PB <sup>2</sup> | MO <sup>3</sup> | MM <sup>4</sup> | FDA <sup>5</sup> | FND <sup>6</sup> | EE <sup>7</sup> |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| Tratamento | 50,39           | 16,6            | 91,39           | 8,61            | 26,61            | 53,40            | 4,65            |
| Controle   | 50              | 17,3            | 91,71           | 8,36            | 26,25            | 52,02            | 4,39            |

<sup>1</sup>MS- matéria seca, <sup>2</sup>PB- Proteína bruta, <sup>3</sup>MO - Matéria Orgânica, <sup>4</sup>MM- matéria mineral, <sup>5</sup>FDA- fibra em detergente ácida, <sup>6</sup>FDN- fibra em detergente Neutro, <sup>7</sup>EE- extrato etéreo

Os grupos TRAT e CON foram mantidos em lotes separados, recebendo o mesmo manejo e a mesma dieta base (Total Mixed Ration - TMR). A metionina protegida foi administrada individualmente como *top-dress* na refeição da tarde, sendo adicionada diretamente sobre o alimento.

#### 4.2.4 Coletas de dados e de amostras

As coletas de sangue foram realizadas via punção da veia coccígea utilizando o sistema Vacutainer, nos dias 0, 7, 14, 21 e 28 em relação ao início da suplementação, em tubos com heparina de sódio, para a análise dos níveis plasmáticos de metionina. O plasma foi analisado em laboratório comercial (Laboratório Pasin®, Santa Maria, RS, Brasil) quanto aos níveis de metionina

utilizando a técnica de cromatografia líquida de alta performance (HPLC) (Bach & Stern, 2000;)

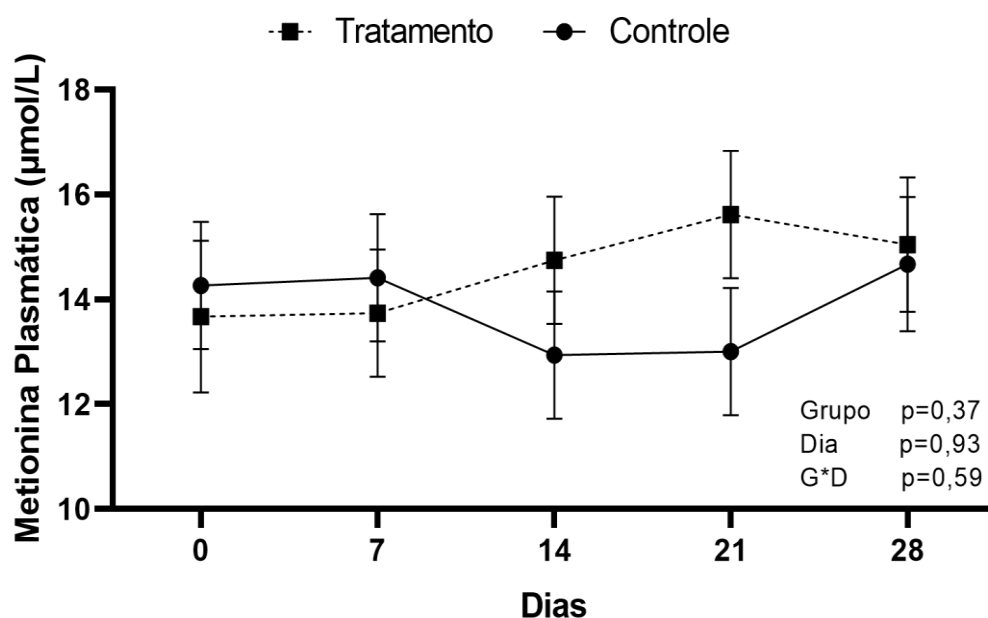
A produção de leite foi registrada semanalmente, nas mesmas datas das coletas sanguíneas. Simultaneamente, os animais também foram pesados com o auxílio de fita de pesagem.

#### 4.2.5 Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa estatístico JMP (SAS Institute Inc., Cary, EUA), utilizando PROC MIXED, avaliando grupos, coletas e a interação entre eles, com avaliação *pós-hoc* de Tukey-Kramer, considerando significativo  $p < 0,05$ . Todas as variáveis foram analisadas quanto a sua normalidade utilizando o método Shapiro-Wilk ( $> 0,90$  e  $p > 0,05$ ), sendo as que não apresentaram distribuição normal, transformadas para atingir a normalidade.

### 4.3. Resultados e Discussão

Os níveis plasmáticos de metionina no decorrer do período de 28 dias podem ser observados na Figura 1.

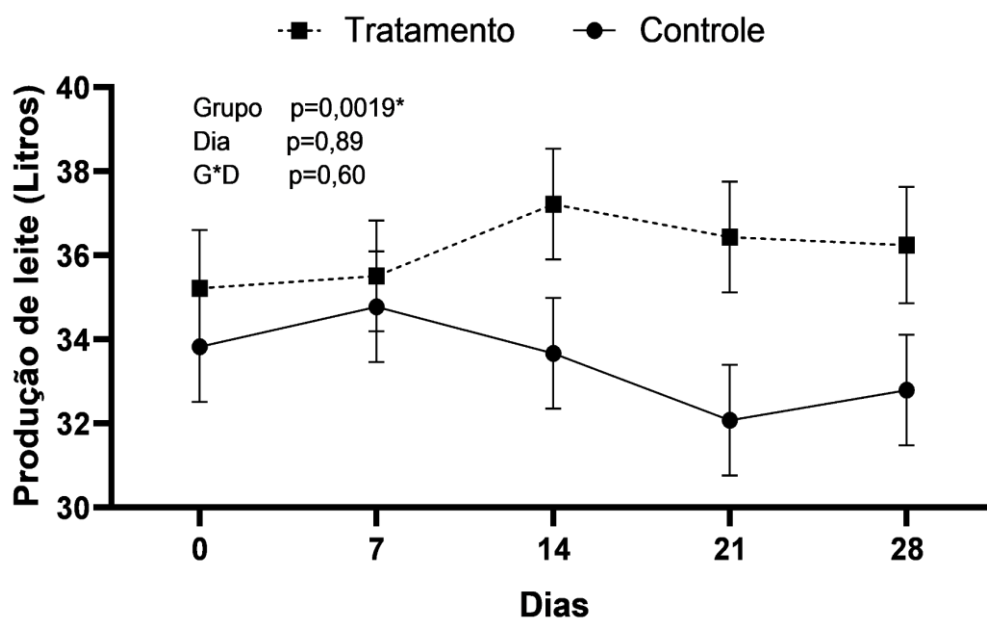


**Figura 1** Níveis plasmáticos de metionina (µmol/L) de vacas da raça Holandês suplementadas com metionina rúmen-protégida ao longo de 28 dias.

No presente estudo, não observamos diferenças significativas ( $p>0,05$ ) nos níveis plasmáticos de metionina entre os tratamentos.

Entretanto, estudos como o de Preynat et al., (2009), Osório et al., (2013) e Zhou et al., (2016), destacam que, em ruminantes de alta produção, a metionina suplementada pode ser rapidamente direcionada para processos metabólicos essenciais, como a síntese de proteína e a produção de leite, ao invés de se acumular na corrente sanguínea. Além disso, Fleming et al. (2019), ao testarem diferentes protótipos rúmen-protetidos, observaram que a biodisponibilidade medida pela aparição plasmática foi baixa para todos os protótipos, em comparação com os efeitos observados na concentração de proteína do leite e no desempenho durante a lactação.

Esses resultados sugerem que a medição plasmática pode subestimar a biodisponibilidade real ou que os efeitos sobre a lactação podem superestimar a verdadeira biodisponibilidade do nutriente. Essa hipótese é reforçada pelos resultados observados em nosso estudo, onde houve um aumento significativo tanto na produção de leite ( $p=0,001$ ) (Figura 2), quanto no ganho de peso corporal das vacas ( $p=0,0001$ ).



**Figura 2** Produção de leite (L) de vacas da raça Holandês suplementadas com metionina rúmen-protetida ao longo de 28 dias.

A Figura 2 demonstra que as vacas suplementadas com metionina protegida apresentaram uma produção de leite superior ao grupo controle ( $36,12 \pm 0,60$  L/dia  $\pm$  vs.  $33,43 \pm 0,58$  L/dia, respectivamente), sugerindo que o aminoácido foi efetivamente utilizado para a síntese de leite. Embora nosso estudo não tenha avaliado a qualidade do leite, é crucial que essa análise seja realizada em estudos futuros, uma vez que a suplementação com metionina protegida em vacas lactantes tem o potencial de aumentar os níveis de proteína do leite.

Durante a lactação, a glândula mamária passa por um processo de intensa renovação celular, especialmente das células epiteliais, que são as responsáveis pela síntese e secreção dos componentes do leite. Esse processo de regeneração celular não requer apenas a síntese de proteínas, mas também a restauração contínua das células epiteliais que compõem o tecido mamário, sendo essencial para manter a produção eficiente de leite. A metionina, como aminoácido essencial, desempenha um papel fundamental nessa renovação celular, atuando como doadora de grupos metil em reações de metilação (BROSNAN E BROSNAN, 2006; ZHONG et al., 2021), um processo crítico para a síntese de DNA e RNA, facilitando a proliferação e a renovação das células mamárias.

Além disso, a metionina é precursora da S-adenosilmetionina (SAM), uma molécula-chave envolvida em múltiplos processos de metilação necessários para o funcionamento e a regeneração celular (ZHONG et al., 2021). Esses processos incluem a metilação de lipídios de membrana, como a fosfatidilcolina, que é crucial para a formação e manutenção das membranas celulares das células epiteliais, além de ser indispensável para o transporte de lipídios e outros nutrientes necessários para a síntese de leite (VANCE, 2002; COKEE, 2007).

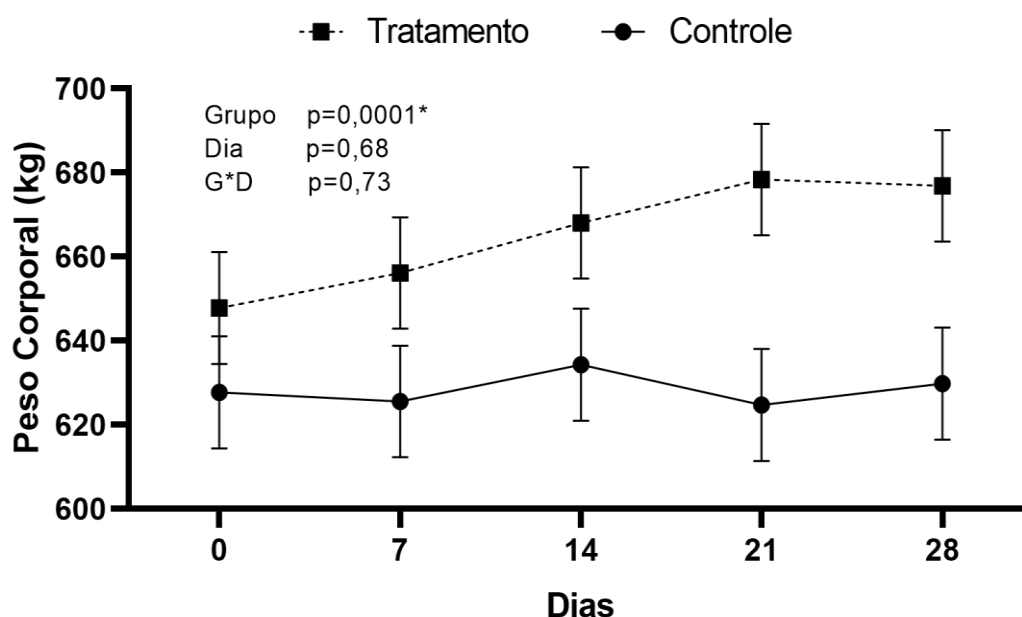
Estudos também demonstram que a metionina protege as células epiteliais mamárias contra o estresse oxidativo, comum durante o período de lactação, ao atuar como precursora da glutatona, um dos principais antioxidantes intracelulares (HUANG et al., 2023; KHAN et al., 2023). Esse efeito não só promove a sobrevivência celular, mas também melhora a eficiência metabólica da glândula mamária, aumentando sua capacidade produtiva. Dessa forma, a suplementação de metionina contribui diretamente para o desenvolvimento e a capacidade produtiva das células epiteliais da glândula mamária, promovendo sua renovação e criando um ambiente celular propício à produção eficiente de leite.

Além disso, segundo estudos de BIONAZ & LOOR (2011) e OLIVER (2013), a síntese de proteína do leite em vacas leiteiras é regulada pelas vias Janus Quinase 2 (JAK2), Transdutor de Sinal e Ativador de Transcrição 5 (STAT5) e Alvo mecanístico da Rapamicina (mTOR), responsáveis pela expressão gênica de proteínas que são fundamentais na tradução e transcrição das proteínas do leite. A via JAK2-STAT5, estimulada por prolactina e fatores de crescimento, promove a fosforilação de STAT5, resultando na expressão de genes de proteínas do leite, como a caseína. No estudo de YANG (2015), a suplementação com metionina aumentou significativamente a expressão de mRNA de JAK2, STAT5 e mTOR sugerindo uma maior ativação destas vias e, consequentemente, maior síntese proteica.

A mTOR é uma proteína quinase serina/treonina que regula a síntese de proteínas, lipídios e a proliferação celular na glândula mamária (PETERSON et al., 2011). Sua ativação, mediada por fosforilação, é modulada por diversos fatores, incluindo aminoácidos, nutrientes e fatores de crescimento (QI et al., 2022). Aminoácidos como metionina, estimulam diretamente o mTOR, promovendo processos anabólicos e a proliferação celular. Estudos demonstraram que esses aminoácidos também induzem a expressão de mTOR, facilitando a síntese de proteínas e lipídios do leite e a proliferação de células epiteliais mamárias bovinas (QI et al., 2028; VASCONCELOS et al., 2019). No entanto, o mecanismo exato pelo qual os aminoácidos regulam a expressão do mTOR ainda precisa de uma definição mais clara (QI et al., 2022).

Esses mecanismos combinados contribuem para o aumento da produção de leite e indicam que a suplementação com metionina potencializa a utilização de aminoácidos na síntese proteica. Embora não tenha sido analisada diretamente a composição proteica do leite em nosso estudo, a literatura aponta que os níveis de proteína no leite estão fortemente associados à sua produção. Papas et al. (1984), destacam que a síntese de proteínas, como a caseína, desempenha um papel fundamental nesse processo.

Ademais, a Figura 3 mostra um aumento ( $p=0,0001$ ) no peso corporal dos animais suplementados em comparação ao grupo controle ( $665,44 \pm 5,95$  kg vs.  $628,40 \pm 5,95$  kg), o que indica que a metionina pode ter sido redirecionada para vias anabólicas, como a deposição de tecido muscular.



**Figura 3** Peso corporal (kg) de vacas da raça Holandês suplementadas com metionina rúmen-protégida ao longo de 28 dias.

Estudos de Liu et al., (2021), indicam que a suplementação de metionina durante a gestação está associada a efeitos positivos no desenvolvimento muscular e no crescimento de bezerros ainda no ventre. A metionina influencia diretamente o metabolismo e a síntese proteica, além de modular processos genéticos importantes, como o *splicing alternativo*, que afetam a expressão de genes envolvidos no desenvolvimento muscular, como Troponina T3, músculo esquelético rápido (TNNT3), Fosfofrutoquinase muscular (PFKM), Actina alfa cardíaca 1 (ACTC1), entre outros (LIU et al., 2021). Estes genes estão relacionados à regulação da contração muscular, ao metabolismo energético e à organização do citoesqueleto, sendo fundamentais para o crescimento e a função muscular. O aumento da sua expressão, promovido pela suplementação de metionina, pode resultar em um maior ganho de massa muscular e, consequentemente, no aumento de peso (LIU et al., 2021).

Nossos resultados indicam que a metionina rúmen-protégida utilizada neste estudo pode ter sido rapidamente utilizada para atender às necessidades produtivas e metabólicas das vacas, sem se refletir em aumento nos níveis plasmáticos. Essa interpretação está alinhada com os estudos de Lapierre et al., (2005), que indicam que, em animais de alta produção, a metionina é prontamente captada pelo fígado e pela glândula mamária, sendo utilizada no metabolismo proteico e energético, o que pode explicar a ausência de variações significativas nos níveis circulantes do nutriente

(LAPIERRE et al., 2012). Além disso, a proteína muscular das vacas leiteiras em produção é uma importante fonte de AAs mobilizáveis para a síntese de leite. Assim, um desenvolvimento da massa muscular aumenta a disponibilidade total de AAs durante a lactação (BELL et al., 2000; CARDOSO et al., 2021). Portanto, os aumentos na produção de leite e no ganho de peso corporal observados em nosso estudo sugerem que a metionina suplementada foi direcionada principalmente para essas vias, resultando em melhorias no desempenho animal.

#### 4.4. Conclusão

Conclui-se que a suplementação com metionina protegida da degradação ruminal pode impactar positivamente a produção de leite e peso corporal de vacas leiteiras. Esses resultados sugerem que o nutriente é direcionado conforme as demandas metabólicas das vacas, contribuindo para melhorias no desempenho produtivo.

#### 4.5. Referências

- BACH, A.; STERN, M. D. Measuring resistance to ruminal degradation and bioavailability of ruminally protected methionine. **Anim. Feed Sci. Tech.**, v. 84, p. 23-32, 2000.
- BACH, A.; STERN, M. D. Measuring resistance to ruminal degradation and bioavailability of ruminally protected methionine. **Animal Feed Science and Technology**, v. 84, n. 1-2, p. 23-32, 2000.
- BAXTER, E. M.; JARVIS, S.; D'EATH, R. B.; ROSS, D. W.; ROBSON, S. K.; FARISH, M.; NEVISON, I. M.; LAWRENCE, A. B.; EDWARDS, S. A. Investigating the behavioural and physiological indicators of neonatal survival in pigs. **Theriogenology**, v. 69, p. 773-783, 2008.
- BELL, A. W.; BURHANS, W. S.; OVERTON, T. R. Protein nutrition in late pregnancy, maternal protein reserves and lactation performance in dairy cows. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 59, n. 1, p. 119-126, 2000.

CARDOSO, F. F. et al. Effect of protein level and methionine supplementation on dairy cows during the transition period. **Journal of Dairy Science**, v. 104, n. 5, p. 5467-5478, 2021.

CASTILLO, A. R.; KEBREA, B. E.; BEEVER, D. E.; FRANCE, J. A. Review of efficiency of nitrogen utilisation in dairy cows and its relationship with the environmental pollution. **Journal Animal Feed Science**, v. 9, p. 1-32, 2000.

COOKE, R. F. et al. Colina suplementar para prevenção e alívio de fígado gorduroso em gado leiteiro. **Journal of Dairy Science**, v. 90, n. 5, p. 2413-2418, 2007.

DE VASCONCELOS, D. A. A. et al. Oral L-glutamine pretreatment attenuates skeletal muscle atrophy induced by 24-h fasting in mice. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 70, p. 202-214, 2019.

FIRKINS, J. L.; YU, Z.; MORRISON, M. Ruminal nitrogen metabolism: perspectives for integration of microbiology and nutrition for dairy. **J. Dairy Sci.**, v. 90, p. 1–16, 2007.

FLEMING, A. J.; ESTES, K. A.; CHOI, H.; BARTON, B. A.; ZIMMERMAN, C. A.; HANIGAN, M. D. Assessing bioavailability of ruminally protected methionine and lysine prototypes. **J. Dairy Sci.**, v. 102, p. 4014–4024, 2019.

HUANG, B. et al. Enhancing metabolism and milk production performance in periparturient dairy cattle through rumen-protected methionine and choline supplementation. **Metabolites**, v. 13, n. 10, p. 1080, 2023.

HUANG, B.; KHAN, M. Z.; KOU, X.; CHEN, Y.; LIANG, H.; ULLAH, Q.; ... & WANG, C. Enhancing Metabolism and Milk Production Performance in Periparturient Dairy Cattle through Rumen-Protected Methionine and Choline Supplementation. **Metabolites**, v. 13, n. 10, p. 1080, 2023.

JUNIOR, V. C. et al. Effects of rumen-protected methionine supplementation on the performance of high production dairy cows in the tropics. **Plos One**, v. 16, n. 4, p. e0243953, 2021.

KHAN, M. Z. et al. Overview of the effect of rumen-protected limiting amino acids (methionine and lysine) and choline on the immunity, antioxidative, and inflammatory status of periparturient ruminants. **Frontiers in Immunology**, v. 13, p. 1042895, 2023.

KIM, J.-E.; LEE, H.-G. Amino acids supplementation for the milk and milk protein production of dairy cows. **Animals**, v. 11, n. 7, p. 2118, 2021.

LAPIERRE, H. et al. Is D-methionine bioavailable to the dairy cow? **Journal of Dairy Science**, v. 95, n. 1, p. 353-362, 2012.

LAPIERRE, H. et al. The route of absorbed nitrogen into milk protein. **Animal Science**, v. 80, n. 1, p. 11-22, 2005.

LIU, L. et al. A suplementação materna de metionina durante a gestação altera o splicing alternativo e a metilação do DNA no músculo esquelético bovino. **BMC Genomics**, v. 22, p. 1-11, 2021.

OLIVER, Carrie H.; WATSON, Christine J. Produção de leite: uma nova ligação entre STAT5 e Akt1. **Jak-stat**, v. 2, n. 2, p. 2154-68, 2013.

PAPAS, A M. et al. Effect of rumen-protected methionine on plasma free amino acids and production by dairy cows. **The Journal of nutrition**, v. 114, n. 12, p. 2221-2227, 1984.

PETERSON, T. R. et al. mTOR complex 1 regulates lipin 1 localization to control the SREBP pathway. **Cell**, v. 146, n. 3, p. 408-420, 2011.

PRESTEGAARD-WILSON, J. M. et al. A survey of United States dairy cattle nutritionists practices and perceptions of reducing crude protein in lactating dairy cow diets. **Applied Animal Science**, v. 37, p. 697-709, 2021.

PREYNAT, A. et al. Influence of methionine supply on the response of lactational performance of dairy cows to supplementary folic acid and vitamin B12. **Journal of Dairy Science**, v. 92, n. 4, p. 1685-1695, 2009.

QI, H. et al. Methionine and leucine induce ARID1A degradation to promote mTOR expression and milk synthesis in mammary epithelial cells. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 101, p. 108924, 2022.

QI, H. et al. Methionine promotes milk protein and fat synthesis and cell proliferation via the SNAT2-PI3K signaling pathway in bovine mammary epithelial cells. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 42, p. 11027-11033, 2018.

SAVARI, M. et al. Effects of rumen-degradable protein: rumen-undegradable protein ratio and corn processing on production performance, nitrogen efficiency, and feeding behavior of Holstein dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 2, p. 1111-1122, 2018.

SCHMIDEK, A. et al. Falha na primeira mamada em bezerros Guzerá: fatores predisponentes e parâmetros genéticos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 998-1004, 2008.

SCHWAB, C. G.; SATTER, L. D.; CLAY, A. B. Response of lactating dairy cows to abomasal infusion of amino acids. **Journal of Dairy Science**, v. 59, n. 7, p. 1254-1270, 1976.

SÜDEKUM, K. H.; WOLFFRAM, S.; ADER, P.; ROBERT, J. C. Bioavailability of three rumen-protected methionine sources in cattle. **Animal Feed Science and Technology**, v. 113, n. 1-4, p. 17-25, 2004.

SWARTZ, T. H. et al. Effects of dietary rumen-protected choline supplementation on colostrum yields, quality, and choline metabolites from dairy cattle. **JDS Communications**, v. 3, n. 4, p. 296-300, 2022.

TAN, P. et al. Amino acids metabolism by rumen microorganisms: Nutrition and ecology strategies to reduce nitrogen emissions from the inside to the outside. **Science of the Total Environment**, v. 800, p. 149596, 2021.

VANCE, J. E. Assembly and secretion of lipoproteins. In: **New Comprehensive Biochemistry**. Elsevier, 2002. p. 505-526.

WEI, C. et al. Meta-analysis of rumen-protected methionine in milk production and composition of dairy cows. **Animals**, v. 12, n. 12, p. 1505, 2022.

WHITEHOUSE, N. L. Using the plasma free amino acid dose response method to determine metabolizable protein concentrations of lysine and methionine in rumen protected supplements. **University of New Hampshire**, 2016.

WU, Z.; SATTER, L. D. Milk production during the complete lactation of dairy cows fed diets containing different amounts of protein. **Journal of Dairy Science**, v. 83, p. 1042-1051, 2000.

YANG, J.-X. et al. Methionyl-Methionine promotes  $\alpha$ -s1 casein synthesis in bovine mammary gland explants by enhancing intracellular substrate availability and activating JAK2-STAT5 and mTOR-mediated signaling pathways. **The Journal of Nutrition**, v. 145, n. 8, p. 1748-1753, 2015.

ZEISEL, S. H. et al. Choline, an essential nutrient for humans. **Faseb Journal**, v. 5, n. 7, p. 2093-2098, 1991.

ZHONG, H. et al. Methionine protects mammary cells against oxidative stress through producing S-adenosylmethionine to maintain mTORC1 signaling activity. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2021, n. 1, p. 5550196, 2021.

ZHOU, Z. et al. Better postpartal performance in dairy cows supplemented with rumen-protected methionine compared with choline during the peripartal period. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 11, p. 8716-8732, 2016.

## 5. CONCLUSÃO GERAL

Ao concluir este trabalho, pode-se afirmar que a metionina é um nutriente essencial na nutrição bovina, desempenhando um papel crucial no metabolismo animal e que a sua suplementação em formulações rúmen-protegidas exerce efeitos positivos significativos sobre o desempenho produtivo de vacas leiteiras. Os resultados obtidos com a suplementação do produto comercial brasileiro indicam que ele foi eficaz em melhorar a produção de leite e peso corporal, embora não tenha refletido em aumentos substanciais nos níveis plasmáticos de metionina. Esses achados ressaltam a importância de consolidar as evidências sobre a eficácia da metionina protegida brasileira para promover a expansão do uso de suplementos rúmen-protegidos no país.

## 6. REFERÊNCIAS

- ADINEH H., HARSIJ M., JAFARYAN H., ASADI M. 2020. The effects of microencapsulated garlic (*Allium sativum*) extract on growth performance, body composition, immune response and antioxidant status of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles. **J. Appl. Anim. Res.** 48 (1), 372–378. 2020.
- AMARO, F. X.; KIM, D.; AGARUSSI, M. C.; SILVA, V. P.; FERNANDES, T.; ARRIOLA, K. G.; VYAS, D. Effects of exogenous  $\alpha$ -amylases, glucoamylases, and proteases on ruminal in vitro dry matter and starch digestibility, gas production, and volatile fatty acids of mature dent corn grain. **Translational Animal Science**, v. 5, n. 1, 2021.
- ARAÚJO, C. M.; OLIVEIRA, K. A.; MACEDO JUNIOR, G. D.; SILVA, A. L.; SILVA, D. A.; SIQUEIRA, M. T. Aminoácidos protegidos na ração de borregas sobre o consumo, desempenho e comportamento ingestivo. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 11, n. 1, p. 1-10, 2019.
- ARCURI, P. B.; LOPES, F. C. F.; CARNEIRO, J. C. Microbiologia do rúmen. In: BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. (Eds.). **Nutrição de Ruminantes**. Jaboticabal: FUNEP, p. 111-151, 2011.
- AYYAT, M. S.; AL-SAGHEER, A.; NORELDIN, A. E.; ABD EL-HACK, M. E.; KHAFA, A. F.; ABDEL-LATIF, M. A.; ... & SALEM, A. Z. Efeitos benéficos da metionina protegida no rúmen na eficiência do uso de nitrogênio, parâmetros histológicos, produtividade e desempenho reprodutivo de ruminantes. **Biotechnologia Animal**, v. 32, n. 1, p. 51-66, 2021.
- BACH, A.; STERN, M. D. Measuring resistance to ruminal degradation and bioavailability of ruminally protected methionine. **Animal Feed Science and Technology**, v. 84, n. 1-2, p. 23-32, 2000.
- BAI, M.; WANG, L.; LIU, H.; XU, K.; DENG, J.; HUANG, R.; YIN, Y. A proporção desequilibrada de aminoácidos metionina-enxofre na dieta pode afetar os perfis de aminoácidos, a capacidade antioxidante e a morfologia intestinal dos leitões. **Anim. Nutr.**, v. 6, p. 447–456, 2020.
- BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de ruminantes**.

Jaboticabal: FUNEP, 2006. 583 p.

BROSNAN, J. T.; BROSNAN, M. E. Branched-chain amino acids: enzyme and substrate regulation. **The Journal of Nutrition**, v. 136, n. 1, p. 207S-211S, 2006.

CAMPOS, F. P. et al. Métodos de análises de alimentos. Piracicaba: FEALQ, 2004.

CASTILLO, A. R.; KEBREAB, E.; BEEVER, D. E.; FRANCE, J. Uma revisão da eficiência da utilização de nitrogênio em vacas leiteiras lactantes e sua relação com a poluição ambiental. **Journal of Animal and Feed Sciences**, v. 9, n. 1, p. 1-32, 2000.

CHASE, L. E.; FORTINA, R. Environmental and economic responses to precision feed management in dairy cattle diets. **Agriculture**, v. 13, p. 1032, 2023.

CHENG, Z.; OGUEJIOFOR, C. F.; SWANGCHAN-UTHAI, T.; CARR, S.; WATHES, D. C. Relationships between Circulating Urea Concentrations and Endometrial Function in Postpartum Dairy Cows. **Animals (Basel)**, v. 5, n. 3, p. 748-73, 2015.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Oferta e demanda de carnes. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/oferta-e-demanda-de-carne>. Acesso em: 02 fev. 2025.

CUNNINGHAM, J. G. **Tratado de Fisiologia Veterinária**. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAO STAT - Livestock Primary. Roma, Italy, 2023. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/Q>. Acesso em: 20 dez. 2024.

GANAI, A. M.; HAQ, Z.; BEIGH, Y. A.; SHEIKH, G. G. Bypass nutrient technology with recent advances for enhancing animal production: A review. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 5, p. 269-275, 2019.

GARBA, A. M.; FIRINCIOĞLU, S. Y. Role of Encapsulation Nutrients for Improvement of Ruminant Performance and Ruminant Derived-Products. **Eurasian Journal of Agricultural Research**, v. 7, n. 2, p. 109-126, 2023.

HADJIPANAYIOTOU, M. Effect of supplementary polyethylene glycol and/or sodium bicarbonate on intake, digestibility, milk yield and composition in goats fed on lentisk (*Pistacia lentiscus* var. Chia) and carob (*Ceratonia siliqua* L.) shrub/grass hay. **Small Ruminant Research**, v. 36, n. 2, p. 169-177, 2000.

HUANG, B.; KHAN, M. Z.; KOU, X.; CHEN, Y.; LIANG, H.; ULLAH, Q.; ... & WANG, C. Enhancing Metabolism and Milk Production Performance in Periparturient Dairy Cattle through Rumen-Protected Methionine and Choline Supplementation. **Metabolites**, v. 13, n. 10, p. 1080, 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Agricultura, pecuária e outros. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria.html>. Acesso em: 02 fev. 2025.

KHAN, M. Z.; LIU, S.; MA, Y.; MA, M.; ULLAH, Q.; KHAN, I. M.; ... & CAO, Z. Overview of the effect of rumen-protected limiting amino acids (methionine and lysine) and choline on the immunity, antioxidative, and inflammatory status of periparturient ruminants. **Frontiers in Immunology**, v. 13, p. 1042895, 2023.

KOZLOSKI, G. V. **Bioquímica dos Ruminantes**. 3. ed. Santa Maria: Editora da UFSM, 2011.

LARA, A.; MENDOZA, G. D.; LANDOIS, L.; BARCEÑA, R.; SÁNCHEZ-TORRES, M. T.; ROJO, R.; AYALA, J.; VEGA, S. Milk production in Holstein cows supplemented with different levels of ruminally protected amino acids. **Livestock Science**, v. 105, n. 1-3, p. 105-108, 2006.

LIMA, D. V.; MOZELLI, E.; GUIMARÃES. Dez anos de pesquisa e extensão em agropecuária sustentável. **X SIMBRAS**, p. 295, 2020.

LOBLEY, G.; BREMNER, D.; HOLTROP, G. Effects of diet quality on urea fates in sheep as assessed by refined, non-invasive urea kinetics. **British Journal of Nutrition**, v. 84, n. 4, p. 459-468, 2000.

MEHTA, N.; AHLAWAT, O. P.; SHARMA, D. P. Microencapsulation: A promising technique for controlled drug delivery. **Research in pharmaceutical sciences** , v. 5, n. 2, p. 65, 2010.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL; COMMITTEE ON ANIMAL NUTRITION; SUBCOMMITTEE ON DAIRY CATTLE NUTRITION. **Nutrient requirements of dairy cattle: 2001**. National Academies Press, 2001.

NOCEK, J. E. Production, absorption and hepatic metabolism of lysine and methionine by dairy cows. **Proceedings of the 2017 Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers**, Cornell University, 2017.

OLIVEIRA, V. da S.; SANTOS, A. C. P.; VALENÇA, R. L. Desenvolvimento e fisiologia do trato digestivo de ruminantes. **Ciência Animal**, v. 29, n. 3, p. 114-132, 2019.

ROBINSON, P. H. Impacts of manipulating ration metabolizable lysine and methionine levels on the performance of lactating dairy cows: A systematic review of the literature. **Livestock Science**, v. 127, n. 2-3, p. 115-126, 2010.

ROBINSON, P. H.; et al. Escape de lisina ruminal, fermentação ruminal e produtividade de vacas leiteiras no início da lactação alimentadas com lisina livre. **Animal Feed Science and Technology**, v. 128, n. 1-2, p. 31-41, 2006.

ROBINSON, P. H.; et al. Influência da alimentação de vacas leiteiras no início da lactação com lisina livre no escape de lisina ruminal, fermentação ruminal e produtividade. **Animal Feed Science and Technology**, v. 118, n. 3-4, p. 201-214, 2005.

ROTTA, P. P.; MENEZES, A. C. B.; SILVA, L. F. C.; VALADARES FILHO, S. C.; PRADOS, L. F.; MARCONDES, M. I. Exigências de proteína para bovinos de corte. In: VALADARES FILHO, S. C.; SILVA, L. F. C.; GIONBELLI, M. P.; ROTTA, P. P.; MARCONDES, M. I.; CHIZZOTTI, M. L.; PRADOS, L. F. **Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados: BR-Corte**. 3. ed. Viçosa: UFV, DZO, cap. 8, p. 191-220, 2016.

SANTOS, S. A.; ROTTA, P. P.; SILVA, L. F. C.; MENEZES, A. C. B.; PINA, D. S.; FILHO, S. C. V. Degradação ruminal da proteína dos alimentos e síntese de proteína microbiana. In: VALADARES FILHO, S. C.; SANTOS, S. A.; ROTTA, P. P.; COSTA E SILVA, L. F.; BAIÃO, A. C. M.; PINA, D. S. **Exigências nutricionais de zebuínos e tabelas de composição de alimentos BR-Corte**, 3. ed. UFV, DZO, Viçosa, p. 45-80, 2016.

SARKAR, S.; et al. Role of Rumen Bypass Nutrients in Dairy Animal's Health and Productivity: A Review. **Indian Journal of Animal Research**, v. 1, p. 9, 2022.

SCHWAB, C. G.; BRODERICK, G. A. A 100-Year Review: Protein and amino acid nutrition in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 12, p. 10094-10112, 2017.

SEYYEDIN, S.; NAZEM, M. N. A study on histomorphometric effects of methionine on small intestine parameters in rats: An applied histological study. **Folia Morphol.**, v. 76, p. 620–629, 2017.

SÜDEKUM, K. H.; WOLFFRAM, S.; ADER, P.; ROBERT, J. C. Bioavailability of three rumen-protected methionine sources in cattle. **Animal Feed Science and Technology**, v. 113, n. 1-4, p. 17-25, 2004.

SWARTZ, T. H.; BRADFORD, B. J.; MALYSHEVA, O.; CAUDILL, M. A.; MAMEDOVA, L. K.; ESTES, K. A. Effects of dietary rumen-protected choline supplementation on colostrum yields, quality, and choline metabolites from dairy cattle. **JDS Communications**, v. 3, n. 4, p. 296-300, 2022.

TAGHVAEI, M.; JAFFARI, S. M.; ASSADPOOR, E.; NOWROUZIEH, S.; ALISHAH, O. Optimization of microencapsulation of fish oil using response surface methodology. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, n. 2, p. 733-743, 2021.

TAMINE, L.; CALUWAERTS, J. P.; GOFFIN, D. Effect of protein supplementation on dairy cows under grazing conditions: A review. **PUBVET**, v. 16, n. 8, a1193, p. 1-12, 2022.

VAN DEN BOSSCHE, T.; GOOSSENS, K.; AMPE, B.; HAESAERT, G.; DE SUTTER, J.; DE BOEVER, J. L.; VANDAELE, L. Effect of supplementing rumen-protected

methionine, lysine, and histidine to low-protein diets on the performance and nitrogen balance of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 106, n. 3, p. 1790-1802, 2023.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B. **Analysis of forages and fibrous foods**. Ithaca: Cornell University, 1985. 202p.

VRISMAN, D. P. Influência da dieta aminoacídica na composição do leite: Revisão de literatura. **Nucleus Animalium**, v. 5, n. 2, p. 3, 2013.

WANG, F.; LI, Q.; XU, J. Amino acid metabolism in dairy cows and their regulation in milk synthesis. **Current Drug Metabolism**, v. 20, n. 1, p. 36-45, 2019.

WANG, H.; LI, Q.; XU, J. Climate warming does not override eutrophication, but facilitates nutrient release from sediment and motivates eutrophic process. **Microorganisms**, v. 11, n. 4, p. 910, 2023.

WEI, C.; HE, T.; WAN, X.; LIU, S.; DONG, Y.; QU, Y. Meta-analysis of rumen-protected methionine in milk production and composition of dairy cows. **Animals**, v. 12, n. 12, p. 1505, 2022.

XIAO, W. W.; FENG, L.; LIU, Y.; NIANG, J.; HU, K.; JIANG, W. D.; LI, S. H.; ZHOU, X. Q. Effects of hydroxyl-methionine analogue dietary supplement on growth, protein deposition, and intestinal enzyme activities of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). **Aquac. Nutr.**, v. 17, p. 408-417, 2011.

YAN, T. J. P.; FROST, R. E.; AGNEW, R. C.; BINNIE, A. C.; MAYNE, C. S. Relationships between manure nitrogen production and dietary and animal factors in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 89, n. 10, p. 3981-3991, 2006.

YANG, J.-X.; LUO, D.-X.; LIU, Y.-X.; XU, L.-Y.; WANG, Q.-L.; MAO, S.-Y.; YAN, Z.; LI, M.-X.; ZHANG, S.-J. Methionyl-methionine promotes  $\alpha$ -s1 casein synthesis in bovine mammary gland explants by enhancing intracellular substrate availability and activating JAK2-STAT5 and mTOR-mediated signaling pathways. **The Journal of Nutrition**, v. 145, n. 8, p. 1748-1753, 2015.

ZANTON, G. I.; TOLEDO, M. Z. Systematic review and meta-analysis of dairy cow responses to rumen-protected methionine supplementation before and after calving. **JDS Communications**, v. 5, n. 4, p. 293-298, 2024.

ZHANG, Y.; JIANG, H.; WANG, H.; LI, S. *Aspergillus oryzae* and *Aspergillus niger* co-cultivation extract affects in vitro degradation, fermentation characteristics, and bacterial composition in a diet-specific manner. **Animals**, v. 11, n. 5, p. 1248, 2021.

ZHAO, X.; ZHENG, N.; ZHANG, Y.; WANG, J. The role of milk urea nitrogen in nutritional assessment and its relationship with phenotype of dairy cows: A review. **Animal Nutrition**, v. 20, p. 33-41, 2025.

## Anexo A

Parecer da Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal de Pelotas.



**PARECER Nº** 25/2025/CEUA/REITORIA  
**PROCESSO Nº** 23110.000966/2025-61

### Certificado

Certificamos que a proposta intitulada **“Biodisponibilidade Sanguínea de Metionina e Colina em Vacas Leiteiras Suplementadas com Formulações Rúmen-Protegidas”**, registrada com o nº **23110.000966/2025-61**, sob a responsabilidade de **Marcio Nunes Corrêa** - que envolve a produção, manutenção ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto humanos), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794, de 8 de outubro de 2008, do Decreto nº 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e recebeu parecer **FAVORÁVEL** a sua execução pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal de Pelotas.

|                         |                                                                                          |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Finalidade              | ( x ) Pesquisa ( ) Ensino                                                                |
| Vigência da autorização | Início: 24/03/2025 Término: 01/03/2026                                                   |
| Espécie/linhagem/raça   | <i>Bos taurus</i> / Holandês                                                             |
| Nº de animais           | <b>20</b>                                                                                |
| Idade                   | 4,5 anos                                                                                 |
| Sexo                    | Fêmeas                                                                                   |
| Origem                  | Cabanha Caléil, BR-116, S/N, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil (31°32'22"S 52°14'48"W). |

Código para cadastro nº **CEUA 000966/2025-61**

**Priscila Marques Moura de Leon**

Coordenadora da CEUA



Documento assinado eletronicamente por **PRISCILA MARQUES MOURA DE LEON, Professor do Magistério Superior**, em 24/03/2025, às 17:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufpel.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufpel.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **2999102** e o código CRC **E6B1F9A1**.