

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANA CAROLINA MOCELIN

COMPARAÇÃO ENTRE DUAS FONTES DE PROTEÍNA NÃO DEGRADÁVEL NO  
RÚMEN NA DIETA DE VACAS EM LACTAÇÃO E SEU IMPACTO NO  
DESEMPENHO PRODUTIVO

CURITIBA  
2025

ANA CAROLINA MOCELIN

COMPARAÇÃO ENTRE DUAS FONTES DE PROTEÍNA NÃO DEGRADÁVEL NO  
RÚMEN NA DIETA DE VACAS EM LACTAÇÃO E SEU IMPACTO NO  
DESEMPENHO PRODUTIVO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo de Almeida

CURITIBA

2025

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Mocelin, Ana Carolina

Comparação entre duas fontes de proteína não degradável no  
rúmen na dieta de vacas em lactação e seu impacto no  
desempenho produtivo / Ana Carolina Mocelin. – Curitiba, 2025.  
1 recurso online: PDF.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná,  
Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em  
Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo de Almeida

1. Vaca Leiteira. 2. Proteínas na nutrição animal. 3. Dieta  
Isoproteica. 4. Produção Leiteira. I. Almeida, Rodrigo de. II.  
Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação  
em Zootecnia. III. Título.

Bibliotecária: Talita Nunes Silva Gonçalves CRB-9/2244



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ZOOTECNIA -  
40001016082P0

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ZOOTECNIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **ANA CAROLINA MOCELIN**, intitulada: **Comparação entre duas fontes de proteína não degradável no rúmen na dieta de vacas em lactação e seu impacto no desempenho produtivo**, sob orientação do Prof. Dr. RODRIGO DE ALMEIDA, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 31 de Julho de 2025.

RODRIGO DE ALMEIDA  
Presidente da Banca Examinadora

JORGE HENRIQUE CARNEIRO  
Avaliador Externo (DAIRY INSIDE)

MAITY ZOPOLLATTO  
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente à Deus por tudo que preparou para mim, cuidando dos detalhes e me sustentando frente às diversidades e dificuldades, permitindo que eu pudesse me tornar mestre na profissão em que escolhi atuar e que também me escolheu.

Aos meus pais, Jeferson e Helenita, por todo apoio, incentivo, dedicação e por acreditarem em mim e no meu potencial até mesmo quando eu não acreditava, por serem meu alicerce e exemplo de honestidade, caráter, fé e amor.

Ao meu esposo Guilherme, por todo apoio sem medir esforços para me ajudar e por não me deixar desistir, vencendo suas limitações para que eu pudesse vencer as minhas e sendo meu ponto de paz e meu porto seguro no meio da tribulação.

Ao Prof. Rodrigo de Almeida pela confiança depositada em mim, orientação, pelo exemplo de profissional que é e por todas as oportunidades e experiências que me proporcionou.

Aos colegas do Grupo do Leite da UFPR, Milena, Nathaniele, Liliana, Marianna, Lorenzo, Bruno e Jorge pela ajuda durante a pós-graduação e aprendizados, especialmente no auxílio no meu experimento.

As minhas amigas Suzete, Beatriz e Manuela pela amizade e tornarem as coisas mais leves, sempre com palavras de acolhimento e incentivo.

À fazenda Nielsen por ter aceitado participar do projeto, pela confiança depositada e pelo acolhimento de todos em me receber e me ajudarem durante todo o experimento. Em especial, a Camila e família, que me acolheram com tanto cuidado e carinho, assim como Andreia e esposo que sempre me ajudaram e me incentivaram e a Adrieli, Pâmela e Anderson por sempre me ajudarem muito, pela parceria, passeios e amizade.

Muito obrigada!

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi comparar duas fontes de proteína não degradável no rúmen (PNDR) na dieta de vacas Holandesas e seu impacto na produção e composição do leite. Um total de 288 vacas (133 primíparas e 155 múltíparas), com  $142 \pm 84$  dias em lactação (DEL) e produção de leite de  $49,9 \pm 10,9$  kg/dia, foram incluídas em um experimento conduzido em um rebanho comercial no estado do Paraná, entre setembro e novembro de 2024. Os animais foram blocados por ordem de parto, DEL e produção de leite, em um delineamento experimental em blocos do tipo cross-over, com duração de 35 dias por período experimental. As dietas experimentais foram isoproteicas (17,6% PB, 10,5% PDR e 7,1% PNDR), com a inclusão de 5,6% de farelo de soja termicamente tratado (FSBDR) e 6,0% de grãos secos de destilaria com alto teor de proteína (HPDDG). A produção de leite foi registrada diariamente e amostras de leite foram coletadas nos últimos 3 dias de cada período, em nove ordenhas consecutivas. Amostras de sangue foram coletadas no último dia de cada período. As vacas que receberam HPDDG produziram mais leite ( $P=0,048$ ) do que as alimentadas com FSBDR ( $50,27$  vs.  $49,15 \pm 0,40$  kg/dia), porém apresentaram menor teor ( $3,36$  vs.  $3,58 \pm 0,04\%$ ;  $P<0,01$ ) e produção de gordura do leite ( $1,66$  vs.  $1,74 \pm 0,023$  kg/dia;  $P=0,02$ ). Não houve diferenças ( $P>0,10$ ) na produção de leite corrigida para 3,5% de gordura (PLC3,5%G) e energia (PLCE), ou nos teores e produções de proteína e lactose. O nitrogênio ureico no leite foi menor no grupo HPDDG em comparação ao FSBDR ( $12,54$  vs.  $14,54 \pm 0,17$  mg/dL;  $P<0,01$ ). O grupo FSBDR apresentou maiores concentração de ácidos graxos (AG) saturados ( $2,13$  vs.  $1,96$  g/100 g de leite;  $P<0,01$ ) e de AG de novo ( $0,81$  vs.  $0,74$  g/100 g de leite e  $22,6$  vs.  $22,2$  g/100 g de AG;  $P<0,01$ ), enquanto que as concentrações de AG pré-formados foram maiores no grupo HPDDG  $35,6$  vs.  $34,0$  g/100 g de AG;  $P<0,01$ ). O grupo HPDDG apresentou maior concentração de colesterol sanguíneo comparativamente ao FSBDR ( $213,9$  vs.  $204,9$  mg/dL;  $P=0,04$ ). Em conclusão, a inclusão de 6% de HPDDG elevou a produção de leite fluído, entretanto o menor teor e produção de gordura do leite, a menor concentração de AG de novo e a maior concentração de AG pré-formados, indicam a necessidade de se estabelecer um limite máximo de inclusão, considerando o sistema de pagamento adotado e outros fatores de risco na dieta para a depressão da gordura do leite.

**Palavras-chave:** balanço de aminoácidos; farelo de soja *by-pass*; gordura do leite; HPDDG; PNDR.

## ABSTRACT

The objective of this study was to compare two sources of rumen undegradable protein (RUP) in the diet of Holstein cows and their impact on milk yield and composition. A total of 288 cows (133 primiparous and 155 multiparous), with  $142 \pm 84$  days in milk (DIM) and milk yield of  $49.9 \pm 10.9$  kg/d, were enrolled in a trial conducted in a commercial herd in Paraná State, Brazil, between September and November 2024. Cows were blocked by parity, DIM, and milk yield in a crossover design, with 35-d experimental periods. Experimental diets were isoproteic (17.6% CP, 10.5% RDP, and 7.1% RUP), containing either 5.6% heat-treated soybean meal (HTSBM) or 6.0% high-protein dried distillers grains (HPDDG). Milk yield was recorded daily, and milk samples were collected during the last 3 d of each period across 9 consecutive milkings. Blood samples were collected on the last day of each period. Cows fed HPDDG produced more milk ( $50.27$  vs.  $49.15 \pm 0.40$  kg/d;  $P=0.048$ ) than those fed HTSBM, but had lower milk fat concentration ( $3.36$  vs.  $3.58 \pm 0.04\%$ ;  $P<0.01$ ) and yield ( $1.66$  vs.  $1.74 \pm 0.023$  kg/d;  $P=0.02$ ). No differences were observed ( $P>0.10$ ) for 3.5% fat-corrected milk, energy-corrected milk, or protein and lactose yields and concentrations. Milk urea nitrogen was lower in cows fed HPDDG compared with HTSBM ( $12.54$  vs.  $14.54 \pm 0.17$  mg/dL;  $P<0.01$ ). The HTSBM group had greater concentrations of saturated fatty acids ( $2.13$  vs.  $1.96$  g/100 g of milk;  $P<0.01$ ) and de novo fatty acids ( $0.81$  vs.  $0.74$  g/100 g of milk;  $22.6$  vs.  $22.2$  g/100 g of FA;  $P<0.01$ ), whereas preformed fatty acids were greater in the HPDDG group ( $35.6$  vs.  $34.0$  g/100 g of FA;  $P<0.01$ ). Cows fed HPDDG also showed higher blood cholesterol concentrations compared with HTSBM ( $213.9$  vs.  $204.9$  mg/dL;  $P=0.04$ ). In conclusion, inclusion of 6% HPDDG increased fluid milk yield; however, the reduction in milk fat concentration and yield, the lower de novo FA concentration, and the greater proportion of preformed FA suggest the need to establish a maximum inclusion level, considering the milk payment system and other dietary risk factors for milk fat depression.

**Keywords:** amino acids balance; *by-pass* soybean meal; HPDDG; milk fat; RUP.

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABELA 1 - Níveis nutricionais dos diferentes co-produtos de milho (HPDDG, DDGS), farelo de soja e farelo de soja protegido)..... | 22 |
| TABELA 2 - Ingredientes e nível de inclusão (%MS) das dietas experimentais HPDDG e FSBDR.....                                     | 48 |
| TABELA 3 - Composição química das dietas experimentais FSBDR e HPDDG.....                                                         | 49 |
| TABELA 4 - Composição média (média $\pm$ desvio padrão) dos ingredientes volumosos.....                                           | 50 |
| TABELA 5 - Produção, composição do leite e escore linear de CCS vacas tratadas com FSBDR e HPDDG.....                             | 53 |
| TABELA 6 - Perfil de ácidos graxos da gordura do leite de vacas leiteiras dos tratamentos HPDDG e FSBDR.....                      | 72 |
| TABELA 7 - Efeito na concentração de metabólitos sanguíneos das vacas dos tratamentos FSBDR e HPDDG.....                          | 73 |

## **LISTA DE FIGURAS**

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1 - Evolução da moagem de milho para produção de etanol.....       | 20 |
| FIGURA 2 - Processo de produção industrial do HPDDG, DDGS, DFS e WFS..... | 22 |
| FIGURA 3 - Índice THI ao longo de todo o experimento.....                 | 46 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| GRÁFICO 1 - Produção de leite nos últimos três dias.....                                                               | 55 |
| GRÁFICO 2 - Produção de leite semanal.....                                                                             | 55 |
| GRÁFICO 3 - Produção de leite corrigida para 3,5% de gordura.....                                                      | 56 |
| GRÁFICO 4 - Produção de leite corrigida para energia.....                                                              | 56 |
| GRÁFICO 5 - Porcentagem e produção de gordura.....                                                                     | 57 |
| GRÁFICO 6 - Energia líquida de lactação.....                                                                           | 58 |
| GRÁFICO 7 - Porcentagem e produção de sólidos totais.....                                                              | 58 |
| GRÁFICO 8 - Nitrogênio ureico do leite.....                                                                            | 59 |
| GRÁFICO 9 - Porcentagem e produção de proteína.....                                                                    | 59 |
| GRÁFICO 10 - Porcentagem e produção de caseína.....                                                                    | 60 |
| GRÁFICO 11 - Porcentagem e produção de lactose.....                                                                    | 61 |
| GRÁFICO 12 - Porcentagem de AG saturado em 100g de leite, em 100g de gordura e em valores absolutos (kg/d).....        | 62 |
| GRÁFICO 13 - Porcentagem de AG monoinsaturados em 100g de leite, em 100g de gordura e em valores absolutos (kg/d)..... | 63 |
| GRÁFICO 14 - Porcentagem de AG polinsaturado em 100g de leite, em 100g de gordura e em valores absolutos (kg/d).....   | 64 |
| GRÁFICO 15 - Porcentagem de AG insaturado em 100g de leite, em 100g de gordura e em valores absolutos (kg/d).....      | 65 |
| GRÁFICO 16 - Porcentagem de AG de novo em 100g de leite, em 100g de gordura e em valores absolutos (kg/d).....         | 66 |

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| GRÁFICO 17 - Porcentagem de AG misto em 100g de leite, em 100g de gordura e em valores absolutos (kg/d).....       | 67 |
| GRÁFICO 18 - Porcentagem de AG pré-formado em 100g de leite, em 100g de gordura e em valores absolutos (kg/d)..... | 68 |
| GRÁFICO 19 - Porcentagem de AG palmítico em 100g de leite, em 100g de gordura e em valores absolutos (kg/d).....   | 69 |
| GRÁFICO 20 - Porcentagem de AG estearico em 100g de leite, em 100g de gordura e em valores absolutos (kg/d).....   | 70 |
| GRÁFICO 21 - Porcentagem de AG oleico em 100g de leite, em 100g de gordura e em valores absolutos (kg/d).....      | 71 |

## LISTA DE ABREVIATURAS

|         |                                                 |
|---------|-------------------------------------------------|
| AA –    | aminoácidos                                     |
| AAE –   | aminoácidos essenciais                          |
| CLA –   | ácido linoleico conjugado                       |
| CMS –   | consumo de matéria seca                         |
| DDG –   | grãos secos de destilaria                       |
| DDGS –  | grãos secos de destilaria com solúveis          |
| DEL –   | dias em leite                                   |
| DGL –   | depressão da gordura do leite                   |
| ECC –   | escore de condição corporal                     |
| FDN –   | fibra em detergente neutro                      |
| FDA –   | fibra em detergente ácido                       |
| FSBDR – | farelo de soja de baixa degradabilidade ruminal |
| HPDDG – | grãos secos de destilaria de alta proteína      |
| ID –    | intestino delgado                               |
| ITU –   | índice de temperatura-umidade                   |
| MS –    | matéria seca                                    |
| N –     | nitrogênio                                      |
| NNP –   | nitrogênio não proteico                         |
| NUL –   | nitrogênio ureico no leite                      |
| PB –    | proteína bruta                                  |

|            |                                                  |
|------------|--------------------------------------------------|
| PDR –      | proteína degradável no rúmen                     |
| PM –       | proteína metabolizável                           |
| Pmic –     | proteína microbiana                              |
| PNDR –     | proteína não degradável no rúmen                 |
| PL –       | produção de leite                                |
| PLC3,5%G – | produção de leite corrigida para 3,5% de gordura |
| PLCE –     | produção de leite corrigida para energia         |
| TG -       | triglicerídeos                                   |
| TMR –      | dieta total misturada                            |

## SUMÁRIO

|                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1 CAPÍTULO I - REVISÃO DE LITERATURA</b>                                                                                                                 | 16 |
| 1.1 INTRODUÇÃO                                                                                                                                              | 16 |
| 1.2 Farelo de soja e DDG como fontes de proteína para vacas leiteiras                                                                                       | 17 |
| 1.2.1 Farelo de soja                                                                                                                                        | 17 |
| 1.2.2 Grãos secos de destilaria (DDG)                                                                                                                       | 18 |
| 1.3 METABOLISMO                                                                                                                                             | 23 |
| 1.3.1 Metabolismo de proteínas                                                                                                                              | 23 |
| 1.3.2 Aminoácidos essenciais na dieta de vacas leiteiras                                                                                                    | 27 |
| 1.4 DIETAS PARA RUMINANTES                                                                                                                                  | 29 |
| 1.4.1 Utilização de fontes proteicas na alimentação de vacas em lactação                                                                                    | 29 |
| 1.4.2 Limitações do uso do DDG                                                                                                                              | 31 |
| <b>1.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>                                                                                                                             | 32 |
| <b>REFERÊNCIAS</b>                                                                                                                                          | 33 |
| <b>2 CAPÍTULO II – COMPARAÇÃO ENTRE DUAS FONTES DE PROTEÍNA NÃO DEGRADÁVEL NO RÚMEN NA DIETA DE VACAS EM LACTAÇÃO E SEU IMPACTO NO DESEMPENHO PRODUTIVO</b> | 44 |
| 2.1 INTRODUÇÃO                                                                                                                                              | 44 |
| 2.2 MATERIAL E MÉTODOS                                                                                                                                      | 45 |
| 2.2.1 Local, instalações e animais                                                                                                                          | 45 |
| 2.2.2 Delineamento experimental                                                                                                                             | 47 |
| 2.2.3 Dietas experimentais                                                                                                                                  | 47 |
| 2.2.4 Coleta e análises de TMR e volumosos                                                                                                                  | 50 |
| 2.2.5 Produção e análise de leite                                                                                                                           | 51 |
| 2.2.6 Peso corporal                                                                                                                                         | 52 |
| 2.2.7 Metabólitos sanguíneos                                                                                                                                | 52 |
| 2.2.8 Análises estatísticas                                                                                                                                 | 52 |
| 2.3 RESULTADOS                                                                                                                                              | 53 |
| 2.3.1 Produção de leite                                                                                                                                     | 53 |
| 2.3.2 Composição do leite                                                                                                                                   | 57 |
| 2.3.2.1 Composição da gordura do leite                                                                                                                      | 61 |
| 2.3.3 Metabólitos sanguíneos                                                                                                                                | 73 |
| 2.3.4 Peso corporal                                                                                                                                         | 74 |
| 2.4 DISCUSSÃO                                                                                                                                               | 74 |

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| 2.5 CONCLUSÃO.....       | 80        |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b> | <b>82</b> |

## 1 CAPÍTULO I - REVISÃO DE LITERATURA

### 1.1 INTRODUÇÃO

O leite destaca-se como uma das commodities agropecuárias de grande importância no cenário mundial, não só econômica, mas também social e nutricional, sendo uma das principais atividades geradoras de emprego no país e contribuindo para a manutenção de uma vida saudável. Em termos globais, o consumo médio é de 181,4 L *per capita*/ano, sendo o leite e seus derivados fontes importantes de proteína de alta qualidade, cálcio, magnésio, selênio, riboflavina, vitamina B12 e ácido pantotênico na dieta, especialmente para populações de menor poder aquisitivo (EMBRAPA, 2021). No Brasil, quinto maior produtor mundial de leite de vaca, a produção alcançou 35,4 milhões de toneladas em 2023 (FAS, 2024). Esse desempenho reflete o forte potencial do país na cadeia leiteira, impulsionado por estados líderes como Minas Gerais (9,42 bilhões de litros), Paraná (4,56 bilhões), Rio Grande do Sul (4,11 bilhões), Santa Catarina (3,21 bilhões) e Goiás (2,98 bilhões de litros) (IBGE, 2024).

A nutrição de vacas em lactação constitui fator determinante para o desempenho produtivo, a eficiência do uso dos nutrientes e a qualidade do leite. A alimentação representa cerca de 50-60% do custo de produção (LUZ et al., 2019), e as dietas nacionais contêm 16-18% de PB, nutriente fundamental na dieta de vacas em lactação, ao fornecer os aminoácidos necessários à síntese de leite e à manutenção dos tecidos corporais, mas de elevado custo. No rúmen, a proteína dietética é degradada e utilizada pelas bactérias para síntese de proteína microbiana, enquanto a fração PNDR escapa da degradação que, em conjunto compõem a proteína metabolizável, determinante para a eficiência produtiva (SCHWAB; BRODERICK, 2017). Entretanto, no contexto nacional, observa-se ainda uma limitação quanto à disponibilidade de ingredientes com elevada concentração e boa qualidade de PNDR, restringindo-se principalmente ao farelo de soja by-pass e os coprodutos da indústria de etanol (NASEM, 2021). Essa restrição reforça a necessidade de avaliar fontes alternativas de proteína que possam melhorar o aporte de aminoácidos metabolizáveis e reduzir a dependência do farelo de soja.

No Brasil, o farelo de soja é a principal fonte proteica na dieta de vacas leiteiras (BELLAYER et al., 2002), contudo apresenta preços elevados e forte competição com outros setores. O grão seco de destilaria (DDG), coproduto da indústria de etanol de milho, desponta como alternativa promissora na substituição parcial ao farelo de soja. Além de apresentar perfil de AA essenciais favorável, rico em metionina e leucina (BRAUNGARDT et al., 2010), o DDG apresenta vantagens econômicas, com custo de aquisição menor. Contudo, DDG a elevada variabilidade de composição entre os fabricantes, os teores de enxofre e a alta concentração de AG insaturados limitam seu uso, podendo afetar a gordura do leite.

Diante desses desafios enfrentados pela pecuária leiteira nacional, o elevado custo com alimentação e a pressão por sistemas mais sustentáveis, uma formulação proteica assertiva possibilita maximizar o aporte de aminoácidos essenciais, otimizando a síntese de leite e reduzindo o excesso de nitrogênio excretado no ambiente. Nesta perspectiva, compreender o metabolismo proteico e avaliar diferentes fontes de proteína é fundamental para aprimorar a eficiência alimentar, reduzir custos e contribuir para sistemas de produção mais rentáveis e ambientalmente sustentáveis.

## 1.2 Farelo de soja e DDG como fontes de proteína para vacas leiteiras

### 1.2.1 Farelo de soja

O Brasil é o maior produtor mundial de soja, produzindo 167,87 milhões de toneladas na safra de 2024/2025, sendo o estado do Mato Grosso, o principal responsável, com 49,63 milhões de toneladas (EMBRAPA SOJA, 2025). O grão de soja se destaca como um ingrediente proteico-energético em dietas animais devido ao seu elevado teor de óleo (17-18%) e de proteína bruta (35-37%), além de apresentar uma composição favorável de aminoácidos essenciais (BELLAYER et al., 2002).

O farelo de soja, obtido como coproduto da indústria de extração de óleo, representa uma das principais fontes de proteína de alta qualidade utilizadas na nutrição de vacas leiteiras, em razão de sua excelente composição nutricional e da ausência de restrições em sua utilização (CAMPOS et al., 1995; PEREIRA et al., 2000). O processamento do farelo de soja convencional envolve a moagem do grão íntegro e posterior extração do óleo sob tratamento térmico, contribuindo para o

aumento da qualidade nutricional do produto (51% PB, 33% PNDR) do produto (SANTOS; PEDROSO, 2011) e neutralizando os fatores anti-nutricionais (LOPES et al., 2003).

A soja contém compostos de defesa vegetal que atuam como fatores antinutricionais, tais como hemaglutininas, leucina e inibidores de proteases, que podem prejudicar a digestibilidade das proteínas dietéticas e o desempenho do animal, restringindo assim o seu consumo *in natura* (SILVA et al., 2000; LIMA JUNIOR et al., 2010). Esses fatores são sensíveis ao calor e podem ser eficientemente inativados após um processo de tratamento térmico (LIMA et al., 2014).

Além do farelo de soja convencional, há o farelo de soja tratado (*by-pass*), submetido a um processo de tratamento de aquecimento térmico a seco controlado (>100 °C) adicional a fim de reduzir a degradabilidade ruminal da proteína. Este tratamento confere maior proteção a parte da proteína, tornando-a insolúvel, elevando o teor de PNDR (63%) e, conseqüentemente, aumentando o aporte de aminoácidos que chegam ao intestino (GONÇALVES et al. 2009).

No entanto, falhas no processamento térmico afetam a qualidade do produto final. Um sub-aquecimento desativa parcialmente as substâncias antinutricionais, as mantendo parcialmente ativas e reduzindo a digestibilidade dos aminoácidos. Por outro lado, um superaquecimento inicia a reação de Maillard, durante a qual o grupo carbonila dos carboidratos interage com o grupo amino dos aminoácidos ou proteínas, complexando o carboidrato, tornando parte dos nutrientes indisponíveis, reduzindo assim a disponibilidade de nutrientes essenciais e diminuindo a quantidade de PDR (MOURA, 2007).

Comercialmente, o farelo de soja é amplamente disponível, apresentando teores de proteína bruta que variam de 44% a 48%. Trata-se de um ingrediente proteico altamente desejável, frequentemente utilizado como principal fonte de proteína em formulações de rações para animais. Sua inclusão contribui significativamente para o fornecimento de proteínas, de energia e de nutrientes essenciais, favorecendo o desempenho zootécnico ideal dos animais (LOPES et al., 2003).

### 1.2.2 Grãos secos de destilaria (DDG)

Os biocombustíveis, em especial o etanol, tem se consolidado como um substituto promissor aos combustíveis fósseis, sendo o mais vantajoso a curto prazo (MANOCHIO et al., 2017). No Brasil, o etanol surgiu como a principal alternativa à gasolina a partir da década de 1970, impulsionado pela crise do petróleo em 1973. Em 1975, foi instituído o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), iniciativa governamental que incentivou a produção de etanol como estratégia para reduzir o uso de combustíveis fósseis, que juntamente com a consolidação dos carros *flexfuel*, transformou o país em um dos maiores produtores de etanol do mundo (MAUGERI, 2006).

As usinas de etanol são diferenciadas entre aquelas que produzem etanol somente a partir da cana-de-açúcar (Full Cana), aquelas somente a partir do milho (Full Milho) e as que utilizam ambos os produtos (Flex Full) (UNEM, 2021).

Os principais grãos utilizados na produção de etanol são aqueles ricos em amido, como milho, trigo e cevada (SILVA et al., 2016). No Brasil, embora a cana-de-açúcar corresponda a cerca de 86% da produção de etanol, observa-se um crescimento significativo na utilização do milho como matéria-prima, na última década. Na entressafra de cana de açúcar de 2022/23, a destinação de milho para a produção de etanol aumentou substancialmente, acompanhando um incremento de 81% na produção total desse grão no país, constituindo então 17% de etanol de milho (CONAB, 2024). O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho (UNEM, 2025). O Mato Grosso destaca-se como o principal produtor de milho do Brasil, responsável por aproximadamente 40% da produção nacional, sendo que 14% deste volume é produção de biocombustíveis (ARANTES et al., 2023; CONAB, 2023). O fator determinante para a alta produtividade de grãos está associado às condições climáticas favoráveis da região, que possibilitam a colheita de duas safras anualmente, maximizando o rendimento.

O Brasil conta com 29 usinas em operação para produção de etanol a partir do milho, incluindo unidades do tipo flex e full (AGROFY NEWS, 2024). A primeira planta industrial dedicada exclusivamente ao etanol de milho foi inaugurada em 2017, no município de Lucas do Rio Verde, estado de Mato Grosso, com capacidade instalada de 200 milhões de litros por ano (FS Fueling Sustainability®). Desde então, observa-se rápida expansão do setor, com a entrada de novas empresas e a implantação de novas unidades industriais. Entre essas, destacam-se 11 usinas que operam exclusivamente com milho como matéria-prima (FIGURA 1).

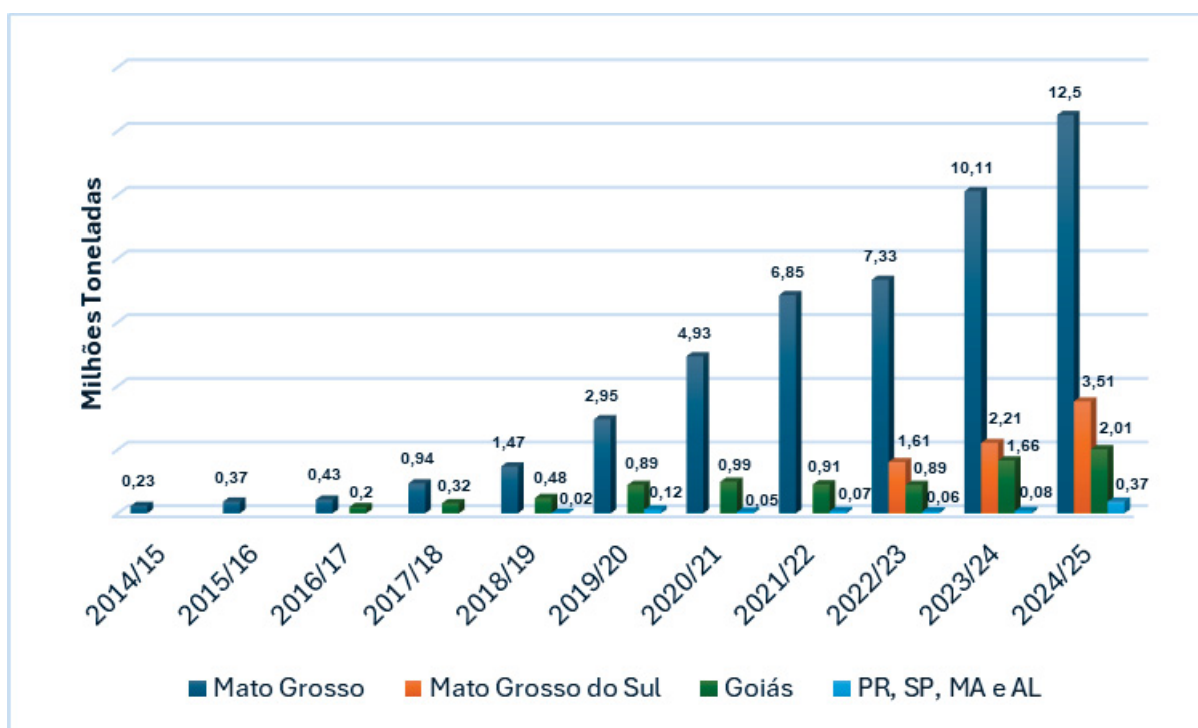


FIGURA 1: Evolução da moagem de milho para produção de etanol. FONTE: UNEM, 2025 (editada)

A produção de etanol a partir do milho, além da produção de biocombustível como produto principal, gera coprodutos de alto valor econômico e zootécnico, ampliando significativamente o aproveitamento do grão. Entre os principais coprodutos estão o óleo de milho e os grãos de destilaria (DDG/DDGS), agregando valor à cadeia produtiva e contribuindo para a nutrição animal (UNEM, 2025). Para cada tonelada de milho processada, são obtidos aproximadamente 420 litros de etanol, 400 kg de DDG e 17 kg de óleo de milho (FS Fueling Sustainability®). Na safra 2023/2024, a capacidade da indústria brasileira de etanol de milho atingiu 6,26 bilhões de litros, representando um incremento de 41% em relação à safra anterior (UNEM, 2025). No ciclo 2024/2025 houve um aumento de 26%, totalizando 7,8 bilhões de litros de etanol de milho produzidos (UNEM, 2025). Esse avanço no processamento do milho impulsiona também a disponibilidade de coprodutos. Na safra 2023/2024, foram produzidas aproximadamente 3 milhões de toneladas de DDG/DDGS, alcançando 4,11 milhões de toneladas na safra de 2024/2025 (UNEM, 2025).

O DDG/DDGS é um produto obtido a partir do milho para produção de etanol, destinados à nutrição animal de bovinos, suínos, aves, peixes e pets, e comercializados de formas diferentes. O processo de produção industrial do HPDDG

se inicia com a recepção e armazenagem do milho. Posteriormente, o grão inteiro passa para moagem a seco, sendo direcionado para o processo de cozimento e liquefação, seguindo para o sistema de separação de fibra, uma tecnologia de moagem seletiva<sup>TM</sup>, que otimiza a extração do óleo e amido de cada grão, e a tecnologia de separação de fibra<sup>TM</sup> (FST) patenteada da ICM remove a fibra do milho, aumentando a eficiência da planta. Ou seja, deste processo resultam o endosperma (amido residual e proteína) + gérmen (óleo e proteína) e o pericarpo (fibras vegetais). O endosperma + gérmen seguem para o processo de fermentação onde há inclusão de levedura *Saccharomyces cerevisiae*, e produção, captura e armazenamento de carbono de bioenergia. Posteriormente, tem-se o processo de destilação, gerando etanol e vinhaça grossa. Esta vinhaça é centrifugada, os sólidos resultantes seguem para secagem em secadores de tubos de vapor indireto a 85°C, por aproximadamente 30 minutos, originando finalmente o HPDDG. Portanto, o HPDDG passa por processamentos que retiram as porções de fibra e óleo, preservando o gérmen para concentrar a proteína e contribuindo com o teor de gordura, não contendo adição de condensados de solúveis.

Os grãos secos de destilaria com solúveis são coprodutos obtidos após a remoção do etanol por destilação, resultante da fermentação de cereais, ou de misturas de cereais, por leveduras. Durante o processo, a fibra é inicialmente separada do grão antes da fermentação, e posteriormente recombinada com uma fração sólida rica em proteínas. Após a fermentação, adicionam-se concentrados solúveis provenientes da concentração da vinhaça fina. Em alguns casos, uma porção significativa do óleo presente pode ser removida. O processo industrial de produção do DDGS envolve as etapas de moagem do grão cru e seco, liquefação, separação da fibra, fermentação, destilação e centrifugação, gerando sólidos com alto teor proteico. Esses sólidos são então combinados com a fibra e os solúveis antes da etapa final de secagem, que resulta no produto final (FIGURA 2). Portanto, cada coproduto gerado na produção de etanol a partir do milho possui processos de produção diferentes, que impactam significativamente suas características nutricionais, conforme demonstrado na TABELA 1.



|                        |       |      |      |      |
|------------------------|-------|------|------|------|
| Histidina, %PB         | 3,06  | 2,66 | 2,64 | 2,62 |
| Isoleucina, %PB        | 3,88  | 3,65 | 4,54 | 4,54 |
| Leucina, %PB           | 12,49 | 11,7 | 7,63 | 7,59 |
| Lisina, %PB            | 3,38  | 2,81 | 6,16 | 6,12 |
| Metionina, %PB         | 2,02  | 1,98 | 1,38 | 1,34 |
| Fenilalanina, %PB      | 5,07  | 4,87 | 5,03 | 5,05 |
| Treonina, %PB          | 3,33  | 3,73 | 3,95 | 3,90 |
| Triptofano, %PB        | 0,79  | 0,80 | 1,38 | 1,34 |
| Valina, %PB            | 5,48  | 4,87 | 4,76 | 4,73 |
| PNDR, %PB <sup>9</sup> | 57,2  | 43,0 | 30,2 | 60,6 |
| PDR, %PB <sup>10</sup> | 33,8  | 57,0 | 69,8 | 39,4 |

<sup>1</sup>Fibra em detergente neutro; <sup>2</sup> Fibra em detergente ácido; <sup>3</sup> Extrato etéreo; <sup>4</sup> Cálcio; <sup>5</sup> Fósforo; <sup>6</sup> Sódio; <sup>7</sup> Potássio; <sup>8</sup> Enxofre; <sup>9</sup> Proteína não degradável no rúmen; <sup>10</sup> Proteína degradável no rúmen; <sup>11</sup>FS Essencial; <sup>12</sup> DDGS baixa gordura (NASEM, 2021); <sup>13</sup> Farelo de soja baixa degradabilidade expellers (NASEM, 2021).

### 1.3 METABOLISMO

#### 1.3.1 Metabolismo de proteínas

Proteínas são macromoléculas biológicas mais abundantes em todas as células, constituídas a partir de um mesmo conjunto de 20 aminoácidos (AA), sendo um polímero de AA, com cada resíduo de AA unido ao seu vizinho por um tipo específico de ligações covalentes, chamadas de ligações peptídicas (LEHNINGER, 2014).

A proteína dietética geralmente se refere à proteína bruta (SCHWAB; BRODERICK, 2017) dos alimentos utilizados na formulação de dietas para ruminantes, definida como o teor de nitrogênio (N) multiplicado por 6,25, um fator que leva em conta que 16% da proteína verdadeira dos alimentos é N. Na proteína verdadeira não estão inclusos compostos nitrogenados não proteicos (NNP) como ureia, nitratos, amidas etc. (NASEM, 2021), ou seja, o teor de PB inclui tanto proteína como N não proteico (NRC, 2001).

A PB é composta por uma fração degradável no rúmen (PDR) e uma fração não degradável no rúmen (SCHWAB; BRODERICK, 2017), as quais possuem funções separadas e distintas (NRC, 2001). A PNDR é a segunda fonte mais importante de AA absorvível para o animal. O valor proteico de uma dieta pode ser determinado pela composição de AA e pela digestibilidade intestinal da PNDR (NRC, 2001). A PNDR, também chamada de proteína “by-pass” é a fração que escapa da degradação ruminal, sem sofrer a ação dos microrganismos, para absorção no

intestino delgado (MEDEIROS; MARINO, 2015).

A fração PDR origina então a Pmic que advém de processos metabólicos de um conjunto de bactérias, protozoários e fungos responsáveis por sintetizar proteases, peptidases e desaminases, enzimas envolvidas na degradação das proteínas. Obtém-se então como produtos finais, peptídeos, AA e amônia que são liberados neste processo de degradação, servindo como nutrientes para o crescimento dos microrganismos ruminais (WALLACE, 1996; VAGA, 2017).

As bactérias são os microrganismos em maior abundância no rúmen, sendo as principais envolvidas neste processo de degradação das proteínas. As proteases quebram as proteínas em oligopeptídeos que posteriormente são degradados em peptídeos menores e alguns AA livres. As bactérias do rúmen absorvem esses substratos e nelas decorrem cinco processos intracelulares: (1) clivagem de peptídeos gerando mais AA livres, (2) incorporação de AA livres nas células, (3) desaminação, catabolizando os AA livres em amônia e esqueletos de carbono, (4) ressíntese de AA utilizando amônia e (5) liberação de amônia para fora da célula para o ambiente ruminal (BRODERICK, 1998).

A PB consiste em frações que se diferem em taxa de degradação (kd). A fração A (NNP) é parte da PB que degrada instantaneamente no rúmen (NRC, 2001). A fração C é a porcentagem da PB danificada pelo calor após reação de Maillard, e a parte associada à lignina e aos taninos, considerada não degradável. Já a fração B representa a parte da proteína verdadeira potencialmente degradável, sendo subdividida em três frações que são determinadas por kd e pela taxa de passagem (kp). A fração B1 é solúvel em tampão borato-fosfato e precipitada com ácido tricloroacético, sendo rapidamente degradada no rúmen; A fração B3 possui degradação lenta, sendo estimada a partir da diferenciação entre nitrogênio insolúvel em detergente neutro e o nitrogênio insolúvel em detergente ácido (fração C). A fração B2 é de PB restante e de moderada degradabilidade ruminal, calculado então subtraindo as frações A, C, B1 e B3 do total da PB (NRC, 2001).

A degradação da proteína pode ser calculada através da equação  $A*0,064+B(kp/kd+kp)C$  (NRC, 2001), considerando um kp fixo de 5,28% para concentrado e 4,87% para forragens (NASEM, 2021). O potencial de degradabilidade da proteína varia amplamente, entre 40-80%, sendo modulada pela qualidade da proteína e pelas condições do ambiente ruminal, em especial pela disponibilidade de energia disponível, que provém basicamente através da fermentação de carboidratos

(SCHWAB; BRODERICK, 2017). Além disso, a taxa de degradação proteica no rúmen está associada ao tempo de retenção dos alimentos, o qual é influenciado por fatores como o volume de matéria seca ingerida, o tamanho das partículas, a proporção entre ingredientes volumosos e concentrados, bem como pelas características cinéticas da própria fração proteica (HUNTINGTON, 2000).

A proteína microbiana corresponde a mais de 50% da PB que chega ao ID, apresentando muita qualidade pela alta digestibilidade e boa composição de AA. Por isso, a importância de compreender sua composição química e entender seu papel no aporte de AA do animal (SCHWAB; BRODERICK, 2017). Além disso, a degradação da PB no rúmen exerce impacto determinante sobre a regulação da fermentação ruminal e no suprimento de AA para bovinos leiteiros (NRC, 2001).

Sendo assim, para atender os requerimentos proteicos do animal, é necessário que quantidade significativas de proteína dietética escapem da degradação ruminal, ou seja, obtendo um fornecimento balanceadas de fontes de PDR e PNDR, sem excesso de N (NRC, 2001; BRODERICK, 2006b; BAHRAMI-YEKDANGI et al., 2014). O mínimo recomendado pelo NASEM (2021) de PDR é de 10,0% da matéria seca (MS), para que não haja impactos significativos na produção de Pmic, redução no consumo de matéria seca e/ou menor digestão de fibra no rúmen, e no máximo 12,0% de PDR (%MS).

A produção de leite, em termos de volume e composição, está diretamente relacionada à oferta adequada de PDR, fundamental para sustentar a atividade da microbiota ruminal, responsável pela degradação de volumosos, especialmente aqueles ricos em carboidratos presentes na parede celular das plantas. Ou seja, um adequado fornecimento de PDR pode maximizar a produção de Pmic, a digestibilidade de fibra em detergente neutro (FDN) e o CMS (SCHWAB; BRODERICK, 2017). Assim, a formulação de dietas balanceadas em PDR, voltada à nutrição microbiana, e em PNDR, destinada ao animal, requer compreensão da cinética de degradação ruminal das frações proteicas da dieta (NRC, 2001).

Quando a PDR é deficiente, o aproveitamento dos alimentos é diminuído (FIRKINS et al., 2006), impactando a produção e composição do leite, visto que impacta a produção de proteína microbiana, uma fonte importante de aminoácidos essenciais para a síntese de proteínas no leite (SANTOS et al., 1999; NRC, 2001). Portanto, buscando otimizar a eficiência de síntese de Pmic, a oferta de PDR deve ser complementada por um fornecimento adequado de energia fermentável (NASEM,

2021). A interação entre os teores de proteína bruta e energia na dieta influencia positivamente a eficiência no aproveitamento dos nutrientes, tornando a produção mais sustentável e econômica. No entanto, essa melhoria na eficiência não se reflete, necessariamente, em maior produção de leite, reforçando a importância de equilibrar a dieta para manter a produtividade sem desperdício de nutrientes (DANIEL et al., 2016; DANES et al., 2020).

A proteína metabolizável (PM) é definida como a proteína verdadeira efetivamente digerida pós-ruminalmente, composta pela PNDR e pela proteína microbiana (Pmic). A PM representa, portanto, a fração da proteína que de fato chega no intestino delgado para ser aproveitada, representando o suprimento real de AA. Portanto, os animais utilizam os AA absorvidos no intestino, transportados pelo sangue e utilizados para síntese de tecido, enzimas e hormônios, etc. e não as proteínas em si. Os AA são como blocos de construção para sintetizar proteínas, que serão vitais para manutenção, crescimento, reprodução e lactação em vacas leiteiras (NASEM, 2021).

A amônia gerada no processo de desaminação dos aminoácidos, processo de remoção de grupos amino das proteínas, resulta na posterior formação de ureia no fígado, podendo ser eliminada do organismo através dos rins ou da glândula mamária (BRODERICK; CLAYTON, 1997). O N ureico sanguíneo apresenta grande correlação, de 0,8 com o N ureico do leite (NUL; (BRODERICK; CLAYTON, 1997; ZHAO et al., 2025). O principal componente de NNP do leite é a ureia que representa cerca de 5% - 7% do N total do leite (SPEK et al., 2013). Além disso, estima-se que cerca de 18% do N ingerido é reciclado para o rúmen na forma de ureia (NASEM, 2021). Cerca de 70% do N ingerido pelas vacas é excretado via fezes e urina (50% em cada), enquanto 30% é secretado no leite (GROENESTEIN et al., 2019; ZHAO et al., 2025).

O NUL apresenta correlação positiva com as concentrações de PB, à medida que a proteína da dieta aumenta, o nitrogênio excretado via leite também tende a aumentar (NOUSIAINEN; SHINGFIELD; HUHTANEN, 2004; BARROS et al., 2017). Além disso, a energia líquida de lactação na dieta também impacta os níveis de NUL (RIUS et al., 2010). Estudos demonstraram que os níveis de NUL tendem a aumentar quando há pouca energia na dieta ou excesso de proteína, pois os microrganismos ruminais não conseguem capturar de forma eficiente o excesso de amônia, aumentando, portanto, a excreção de nitrogênio (ZHAO et al., 2025).

A variação nos níveis de NUL pode ser explicada 67% pelo carboidrato não fibroso e pela PB, mas um preditor individual ainda melhor pode ser a relação CNF/PB, que representa 68% da variação nos níveis de NUL (ZHAO et al., 2025). O NUL é um bom auxiliar na avaliação do equilíbrio entre proteínas e carboidratos na dieta, além de ser um bom indicador eficiência no uso do nitrogênio dietético (SCHWAB; BRODERICK, 2017; ZHAO et al., 2025).

### 1.3.2 Aminoácidos essenciais na dieta de vacas leiteiras

Antigamente as dietas para vacas leiteiras eram formuladas buscando atender prioritariamente as exigências de PB, balanceando as dietas para PM, entendendo que as deficiências da proteína dietética poderiam ser atendidas por proteínas sintetizados pelos microrganismos (SOK et al., 2017; NASEM, 2021). Dietas que atendem as necessidades de PM ainda podem ser deficientes em um ou mais aminoácidos essenciais (AAE), da mesma forma, dietas aparentemente deficientes em PM podem estar atendendo os requerimentos de AAE (NRC, 2001). Deste modo é necessário atentar-se no equilíbrio dos AAE individuais (NASEM, 2021).

No caso de bovinos, um AA não pode ser considerado como limitante. A limitação ocorre quando o fornecimento do AA é deficiente a ponto de afetar a síntese proteica, o que pode ocorrer com todos os AAE (NASEM, 2021). Portanto, tem-se entendido que cada AA responde de modo individual, apresentando uma resposta aditiva e não mais interativa (YODER et al., 2020). Esse efeito aditivo também foi relatado por Arshad et al. (2024), que não observaram interação estatística entre os níveis de lisina e a presença de metionina. O aumento na suplementação de lisina promoveu respostas independentes da adição de metionina. No entanto, os autores identificaram uma interação significativa sobre a eficiência de utilização dos aminoácidos, sugerindo que o balanceamento simultâneo afeta a eficiência metabólica, embora não a magnitude da resposta produtiva.

Apesar da variabilidade entre animais na eficiência de utilização da proteína metabolizável e dos AA para a síntese, secreção e agregação de proteínas do leite, o NASEM (2021) apresenta recomendações para o fornecimento adequado de PM e aminoácidos essenciais, assumindo que as exigências energéticas estejam plenamente atendidas. As eficiências de utilização alvo podem ser empregadas na

avaliação de dietas, auxiliando na identificação de aminoácidos que estejam potencialmente limitantes ou em excesso (NASEM, 2021). O balanceamento de AAE derivados da PM, desde que o suprimento de PDR seja suficiente para sustentar uma fermentação ruminal eficiente, pode possibilitar um desempenho animal equivalente com menor oferta total de PM e PB (NASEM, 2021).

Embora os AA sejam utilizados principalmente para síntese de proteína, eles também atuam em diferentes rotas metabólicas (MARTINS et al., 2018; NASEM, 2021). Dos 20 AA presente nas proteínas, 9 são AA essenciais e a arginina considerada condicionalmente essencial, pois em vacas de alta produção, mesmo que possua uma significativa taxa de síntese de novo, ainda assim seria insuficiente para atender as demandas metabólicas para produção de leite (NASEM, 2021).

Os AA chamados de essenciais são aqueles que não podem ser sintetizados por células animais, ou que são sintetizados em quantidade insuficiente para atender às exigências. Os AAE englobam histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano e valina. Os AA não essenciais são os quais podem ser sintetizados de novo, em quantidades suficientes; são eles alanina, asparagina, aspartato, cisteína, glutamato, glutamina, glicina, prolina, serina e tirosina (NASEM, 2021).

Entre esses AAE, apenas 5 deles são considerados na equação do NASEM (2021), para estimar a produção da proteína do leite, sendo eles: metionina, lisina, histidina, isoleucina e leucina. A metionina e a lisina se destacam por frequentemente limitarem o desempenho de vacas leiteiras (ZHOU et al., 2016). As dietas comumente utilizadas no Brasil, que têm como principal fonte proteica o farelo de soja, ricas em lisina, mas deficientes em metionina. Assim, a metionina é geralmente considerada o primeiro aminoácido deficiente nas formulações proteicas adotadas em sistemas de produção nacionais. A disponibilidade dietética de metionina e lisina exerce influência sobre a composição proteica do leite, afetando a concentração de proteína verdadeira, refletindo seu papel central na síntese proteica mamária (RULQUIN; KOWALCZYK, 2003; SCHWAB et al., 2007).

As concentrações ideais recomendadas pelo NRC (2001) seriam de 7,2% lisina e 2,4% (PM) de metionina, para otimizar a produção de proteína no leite. Para atender as dosagens desses AA é necessário suplementação, trazendo um alto custo às formulações. Portanto Schwab et al. (2007) sugeriu concentrações que fossem viáveis de serem alcançadas, respeitando a relação de 3:1 (Lisina:Metionina),

adotando teores em torno de 6,6 e 2,2% da PM.

## 1.4 DIETAS PARA RUMINANTES

### 1.4.1 Utilização de fontes proteicas na alimentação de vacas em lactação

Na pecuária, o custo com a alimentação representa a maior parcela do custo de produção animal (60%) (LUZ et al., 2019), sendo a proteína o nutriente mais caro da dieta e o segundo nutriente em maior proporção no rúmen (ANDRADE-MONTEMAYOR et al., 2009).

Em especial, tratando-se de vacas em lactação, a proteína tem papel fundamental na produção e composição do leite (NRC, 2001; SCHWAB et al., 2007; MARTINS et al., 2018). Dietas que apresentam PB abaixo de 7% afetam o desenvolvimento da microbiota ruminal e a digestão, ocasionando em perda de peso dos animais, menor produção de leite e perdas reprodutivas (VAN SOEST, 1994).

Os ingredientes proteicos utilizados na dieta de ruminantes podem ser classificados conforme a proporção de proteína que escapa da degradação ruminal. Alimentos considerados ricos em PNDR são a farinha de peixes, carne e ossos, e sangue (GUIMARÃES, 2011). Porém, conforme IN 8/2004, no Brasil é proibido a utilização de quaisquer produtos de origem animal na alimentação de animais ruminantes (MAPA, 2004). Portanto, no Brasil, entre as fontes proteicas usadas na nutrição animal, destacam-se os farelos de algodão e de amendoim, obtidos como resíduos do processamento industrial para extração de óleos vegetais, porém o farelo de soja é a principal fonte de proteína utilizada na alimentação de vacas leiteiras (GUIMARÃES, 2011), devido à sua alta disponibilidade no mercado, e elevado conteúdo PB. A destinação do farelo de soja é distribuída em três setores principais, 60% para avicultura, 25% para suinocultura e 13% para bovinocultura tanto de corte quanto de leite (3TENTOS, 2022). Torna-se notável a diversidade desse ingrediente em atender vários mercados, que, contudo, implica na oscilação dos preços, sujeitos aos mecanismos de oferta e demanda no mercado.

A busca por maior eficiência na cadeia produtiva do leite tem impulsionado pesquisas voltadas à otimização do aproveitamento de nutrientes essenciais (MUTSVANGWA et al., 2016), especialmente da proteína, com foco em alternativas

mais econômicas que possam ser incluídas nas dietas sem comprometer o desempenho animal. que possa ser incluído nas dietas sem prejuízo à produção animal. Uma das estratégias adotadas é a proteção ruminal da proteína, que visa aumentar o aporte de aminoácidos essenciais ao intestino. Dentre os métodos utilizados, destacam-se o uso do grão de soja tostado e do farelo de soja expeller, que apresentam maior resistência à degradação ruminal e melhor aproveitamento intestinal. A substituição parcial do farelo de soja convencional por farelo de soja protegido da degradação ruminal já é bem documentado na literatura, demonstrando efeitos positivos na eficiência alimentar (FIORI et al., 2024), aumento de sólidos totais (ALVES, 2001) e de produção leite (GIUDI et al., 2007).

Outra fonte de substituição parcial do farelo de soja bem documentada é o grão seco de destilaria com solúveis (LIU, 2011; FOTH et al., 2015; RAMIREZ et al., 2016; SHIN et al., 2018; RANATHUNGA et al., 2019; KROSTAD et al., 2021). O uso de DDGS em dietas de aves e suínos já é muito utilizado, sendo utilizado mais recentemente na alimentação de vacas leiteiras. Em função disto, o DDGS tem substituído parcialmente, cerca de 30% MS, o farelo de soja da dieta de vacas leiteiras (ZHANG et al., 2010; NUTTELMAN et al., 2011), mantendo ou até mesmo aumentando a produção de leite destes animais (ANDERSON et al., 2006; KLEINSCHMIT et al., 2006; RANATHUNGA et al., 2010).

Estudos indicam que um nível seguro de inclusão de DDGS em dietas de vacas leiteiras é de até 20-22% da MS, substituindo o milho e/ou soja (RANATHUNGA et al., 2010), sem impactar a produção e a composição do leite (ANDERSON et al., 2006; KLEINSCHMIT et al., 2006). A substituição parcial de milho por DDGS não demonstrou diferença na produção de leite e de gordura, comparado a dieta controle sem DDGS (RANATHUNGA et al., 2018). Já outros estudos, ao incluir 20% de MS de DDGS nas dietas, em substituição ao milho, obtiveram resultados positivos na produção de leite (ANDERSON et al., 2006; KLEINSCHMIT et al., 2006). Mais recentemente, Chesini et al. (2022), avaliaram a substituição parcial de 30% do farelo de soja, por DDGS, que apresentou acréscimo na produção de leite e maior produção de proteína e lactose, sem efeito deletério na gordura do leite.

A utilização de grão seco de destilaria de alta proteína na nutrição animal tem sido fortemente estudado nos últimos anos, com trabalho no Brasil com suínos (CANTARELLI, 2020), aves (DIAS; CALDERANO, 2020; SAKOMURA, 2023), peixes (ABIMORAD; TOLEDO, 2023), cães (KAELLE et al., 2020), e bovinos de corte

(ANTUNES, 2020; DIAS et al., 2021). Contudo, apenas um estudo com bovinos leiteiros, que utilizaram o HPDDG norte americano (HUBBARD et al., 2009), que difere do HPDDG brasileiro.

#### 1.4.2 Limitações do uso do DDG

A maior preocupação ao incluir DDG ou DDGS na dieta é o alto teor de gordura causar depressão da gordura do leite (BAUMAN et al., 2001). Pesquisas relataram a ocorrência de depressão da gordura do leite ao utilizar DDGS nas dietas, associando esse efeito ao alto teor de ácidos graxos poli-insaturados contido no produto (MUTSVANGWA et al., 2016), visto que o óleo de milho é rico em ácido linoleico. A depressão da gordura do leite não é causada por apenas um único fator dietético, mas sim pela interação de vários fatores nutricionais, como por exemplo, uma maior concentração de ácidos graxos insaturados (LOCK, 2010). Alguns estudos encontraram que a alta inclusão de DDGS nas dietas de vacas leiteiras (acima 20% na MS) impactou o desempenho produtivo dos animais (RAMIREZ-RAMIREZ et al., 2016; MORRIS et al., 2018a; ZYNDA et al., 2022), possivelmente por ter aumentado a quantidade de ácidos graxos poli-insaturados da dieta, consequentemente, deprimindo a gordura do leite (MORRIS et al., 2018). Esses ácidos graxos poli-insaturados são potencialmente tóxicos para a microbiota ruminal (MAIA et al., 2007), desencadeando uma biohidrogenação bacteriana e a síntese de isômeros de ácido linoleico conjugado (CLA) (CHOUINARD et al., 1999), especialmente de CLA trans-10, cis-12, um potente inibidor de síntese de gordura no leite (MORRIS et al., 2018; HARVATINE et al., 2018). Contudo, o perfil nutricional do DDG e DDGS são variáveis, principalmente entre os fabricantes, o que dificulta a definição de um nível de inclusão que seja seguro, sem causar impactos econômicos ao produtor.

Outra preocupação ao utilizar DDG na dieta de bovinos leiteiros é o teor relativamente alto de enxofre (S) contido nestes produtos (0,71%; NASEM, 2021), aumentando também a concentração de S na dieta. A recomendação de S na dieta para vacas em lactação é de 0,15 a 0,25% (MS) (NASEM, 2021). O excesso de S pode impactar o pH ruminal, diminuindo a digestibilidade da fibra (DREWNOSKI et al., 2014), além de atuar como antagonista de outros íons (RYSSEN et al., 1998; IVANCIC; WEISS, 2001; POGGE et al., 2014). Para dietas de vacas em lactação, o

comum é um DCAD em torno de 200 mEq/kg MS, para atender as exigências minerais. Indiretamente, o S pode diminuir a diferença do DCAD da dieta, prejudicando a digestibilidade da matéria seca e o FDN, assim como a produção de gordura no leite, visto que, estes possuem associação positiva com o DCAD (IWANUIK; ERDMAN, 2015). O estudo realizado por Clark et al. (2024), demonstrou não ter encontrado efeito direto no alto teor de S do DDGS sobre as respostas de depressão à gordura do leite (DGL), mas uma contribuição indireta. O DCAD menor, causado pelo alto teor de S, prejudicou o equilíbrio ácido-base das vacas, associado à DGL (CLARK et al., 2024).

## 1.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante deste contexto, o farelo de soja é amplamente reconhecido como a principal fonte proteica na dieta de vacas leiteiras, sendo utilizado em larga escala. No entanto, seu uso já tem sido progressivamente substituído por fontes de PNDR, especialmente o farelo de soja *bypass*, cuja eficiência já é bem documentada na literatura. Adicionalmente, a substituição parcial do farelo de soja *bypass* por DDGS também tem sido amplamente estudada, com resultados consistentes sobre a produção leiteira. Contudo, o mercado brasileiro conta com uma nova alternativa, o HPDDG, um produto que apresenta alto teor de PNDR e potencial nutricional relevante, contendo um desejável perfil de AA. Apesar de promissor, o HPDDG ainda carece de estudos voltados à bovinocultura leiteira, especialmente quanto à sua inclusão em dietas, considerando possíveis limitações, como seu elevado teor de gordura.

## REFERÊNCIAS

AGROFY NEWS. **Quais são as 29 usinas de etanol de milho em operação no Brasil?** São Paulo, SP: Agrofy News, 23 out. 2024. Disponível em: <https://news.agrofy.com.br/noticia/205822/quais-sao-29-usinas-etanol-milho-em-operacao-no-brasil>. Acesso em: 5 mai. 2025.

ALVES, M.F.C.C. **AVALIAÇÃO METABÓLICA DE VACAS LEITEIRAS ALIMENTADAS COM GRÃO DE SOJA CRU E TRATADO COM CALOR**. 2001. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Veterinária, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

ANDERSON, J. L.; SCHINGOETHE, D. J.; KALSCHEUR, K. F.; HIPPEN, A. R. **Evaluation of dried and wet distillers grains included at two concentrations in the diets of lactating dairy cows**. J. Dairy Sci., v. 89, p. 3133–3142, 2006.

ANDRADE-MONTEMAYOR, H.; GASCA, T. G.; KAWAS, J. **Ruminal fermentation modification of protein and carbohydrate by means of roasted and estimation of microbial protein synthesis**. Revista Brasileira de Zootecnia., v. 38, p. 277-291, 2009.

ARANTES, S. M. **Análise socioeconômica e de uso da terra da produção de etanol de milho segunda safra, no centro-oeste brasileiro**. 2023. Dissertação (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2023.

ARSHAD, U.; PEÑAGARICANO, F.; WHITE, H. M. **Effects of feeding rumen-protected lysine during the postpartum period on performance and amino acid profile in dairy cows: A meta-analysis**. J. Dairy Sci., v. 107, p. 4537–4557, 2024.

BAHRAMI-YEKDANGI, H., M. KHORVASH, G. R. GHORBANI, M. ALIKHANI, R. JAHANIAN, AND E. KAMALIAN. 2014. **Effects of decreasing metabolizable protein and rumen-undegradable protein on milk production and composition**

**and blood metabolites of Holstein dairy cows in early lactation.** J. Dairy Sci., v. 97, p. 3707–3714, 2014.

BARROS, T.; QUAASSDORFF, M. A.; AGUERRE, M. J.; COLMENERO, J. J. O.; BERTICS, S. J.; CRUMP, P. M.; WATTIAUX, M. A. **Effects of dietary crude protein concentration on late-lactation dairy cow performance and indicators of nitrogen utilization.** J. Dairy Sci., v. 100, p. 5434–5448, 2017.

BAUMAN, D. E., AND J. M. GRIINARI. 2001. **Regulation and nutritional manipulation of milk fat: low-fat milk syndrome.** Livest. Prod. Sci., v. 70, p.15–29, 2001.

BELLAVER, C., G. COTREFAL, M. GRECCO. **Soja integral: processamento e uso.** Alimentação Animal, v. 7, p. 28-30, 2002.

BORGES, S. A., D. SALVADOR, R. A. IVANOVSKI. **Utilização da soja desativada na dieta de monogástricos.** In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE AVES E SUÍNOS, Cascavel, PR. Anais. CBNA, p. 21-66, 2003.

BRAUNGARDT, T. J.; SHIKE, D. W.; PAS, D. B. F.; KARGES, K.; GIBSON, M.; POST, N. M. **Comparison of corn coproducts and corn residue bales with alfalfa mixed hay on beef cow-calf performance, lactation, and feed costs.** Professional Animal Scientist, v. 26, p. 356–364, 2010.

BRODERICK, G. A.; CLAYTON, M. K. **A statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentrations of milk urea nitrogen.** J. Dairy Sci., v. 80, p. 2964–2971, 1997.

BRODERICK, G. A. **Can cell-free enzymes replace rumen micro-organisms to model energy and protein supply?** BSAP Occasional Publication, v. 22, p. 99–114, 1998.

BRODERICK, G. A. 2006B. **Nutritional strategies to reduce crude protein in dairy diets**. Page 1 in Proc. 21st Southwest Nutrition and Management Conference, Tempe, AZ. University of Arizona, Tucson.

BROSNAN, J. T.; BROSNAN, M. E. **5th Amino Acid Assessment** Workshop. J. Nutr., 2006.

CAMPOS, O. F.; LIZIEIRE, R. S.; DAYRELL, M. S.; OLIVEIRA, J. S. **Características e composição de alguns alimentos concentrados utilizados na alimentação de bovinos de leite**. Juiz de Fora: Embrapa/CNPGL, 1995. (Circular Técnica, 38).

CHIOGNA, V. LOPES, F.; SCHWAB, C. G.; TOLEDO, M. Z.; COLLAO-SAENZ, E. A. **Effects of rumen-protected methionine supplementation on the performance of high production dairy cows in the tropics**. PLoS ONE, v. 16, 2021.

CHOUINARD, P. Y., L. CORNEAU, D. M. BARBANO, L. E. METZGER, AND D. E. BAUMAN. 1999. **Conjugated linoleic acids alter milk fatty acid composition and inhibit milk fat secretion in dairy cows**. J. Nutr., v.129, p.1579–1584, 1999.

CLARK, K. L.; PARK, K.; LEE, C. **Exploring the cause of reduced production responses to feeding corn dried distillers grains in lactating dairy cows**. J. Dairy Sci., v. 107, p. 6717–6731, 2024.

CONAB. Brazilian National Food Supply Agency (2024). **Acompanhamento da Safra Brasileira**, DF, v. 11, Boletim da Safra 2023/24 (5º levantamento), p. 1-122, 2024.

DANES, M. A. C.; HANIGAN, M. D.; ARRIOLA APELO, S. I.; DIAS, J. D. L.; WATTIAUX, M. A.; BRODERICK, G. A. **Post-ruminal supplies of glucose and casein, but not acetate, stimulate milk protein synthesis in dairy cows through differential effects on mammary metabolism**. J. Dairy Sci., v. 103, p. 6218–6232, 2020.

DANIEL, J. B.; FRIGGENS, N. C.; CHAPOUTOT, P.; VAN LAAR, H.; SAUVANT, D. **Milk yield and milk composition responses to change in predicted net energy and metabolizable protein: a meta-analysis.** *Animal*, v. 10, p. 1975–1985, 2016.

DREWNOSKI, M. E., D. J. POGGE, AND S. L. HANSEN. 2014. **High-sulfur in beef cattle diets: A review.** *J. Anim. Sci.*, v. 92, p. 3763–3780. 2014.

EMBRAPA SOJA. **Dados econômicos: soja em números (safra 2024/25).**

Londrina, PR: Embrapa, atualizado em 11 de abr. 2025. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 8 jul. 2025.

FIRKINS, J. L.; HRISTOV, A. N.; HALL, M. B.; VARGA, G. A.; ST-PIERRE, N. R. **Integration of ruminal metabolism in dairy cattle.** *J. Dairy Sci.*, v.89(E-Suppl), p.31-51, 2006.

FIORI, R. C.; VASCONCELOS, J. A.; SCHMIDT, C. P. **Efeito da substituição de farelo de soja convencional por farelo de soja protegido da degradação ruminal na dieta de vacas primíparas da raça Holandês — grupo de tratamento comparado ao controle.** Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2024.

FOTH, A. J., BROWN-BRANDL., HANFORD, K. J., MILLER, P. S. GOMEZ, G. G. KONONOFF, P. J. **Energy content of reduced-fat dried distillers grains with solubles for lactating dairy cows.** *J. Dairy Sci.*, v. 98, p. 7142-7152. 2015.

GONÇALVES, L. C, I. BORGES, P. D. S. FERREIRA. **Alimentos para gado de leite.** Belo Horizonte, MG, Editora: FEPMVZ. 568. p. 2009.

GROENESTEIN, C. M. HUTCHINGS, N.J.; HAENEL, H.D.; AMON, B.; MENZI, H.; MIKKELSEN, M. H.; MISSELBROOK, T. H.; VAN BRUGGEN, C.; KUPPER, T.; WEBB, J. **Comparison of ammonia emissions related to nitrogen use efficiency of livestock production in Europe.** *Journal of Cleaner Production*, v. 211, p. 1162–1170, 2019.

GUIMARÃES, T.P. **Exigências proteicas para bovinos de corte.** Universidade Federal de Goiás. Seminário. Goiana. 2011.

HARVATINE, Kevin J.; BOISCLAIR, Y. R.; BAUMAN, Dale E. **Time-dependent effect of trans-10, cis-12 conjugated linoleic acid on gene expression of lipogenic enzymes and regulators in mammary tissue of dairy cows.** J. Dairy Sci., v. 101, p. 7585–7592, 2018.

HUBBARD, K. J.; KONONOFF, P. J.; GEHMAN, A. M.; KELZER, J. M.; KARGES, K.; GIBSON, M. L. **The effect of feeding high-protein distillers dried grains on milk production of Holstein cows.** J. Dairy Sci., v. 92, p. 2911–2914, 2009.

HUNTINGTON, G. B., ARCHIBEQUE, S. L. **Practical aspects of urea and ammonia metabolism in ruminants.** J. Animal Sci., v. 77(E-Suppl), p. 1–11, 2000.

IVANCIC, J. JR., AND W. P. WEISS. **Effect of dietary sulfur and selenium concentrations on selenium balance of lactating cows.** J. Dairy Sci., v. 84, p. 225–232, 2001.

IWANIUK, M. E., ERDMAN, R. A. **Intake, milk production, ruminal, and feed efficiency responses to dietary cation-anion difference by lactating dairy cows.** J. Dairy Sci., 2015.

KLEINSCHMIT, D. H.; SCHINGOETHE, D. J.; KALSCHEUR, K. F.; HIPPEN, A. R. **Evaluation of various sources of corn dried distillers grains plus solubles for lactating dairy cattle.** J. Dairy Sci., v. 89, p. 4784–4794, 2006.

LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica.** Tradução de W. R. N. Lodi e A. A. Simões. 6. ed. São Paulo: Artmed, 2014.

LIMA JÚNIOR, D. M., P. B. S. MONTEIRO, A. H. N. RANGEL, M. V. MACIEL, S. E. OLIVEIRA; D. A. FREIRE. **Fatores anti-nutricionais para ruminantes.** Acta Veterinaria Brasilica, v. 3, p. 132-143, 2010.

LIMA, C. B., F. G. P. COSTA, J. V. LUDKE, D. M. LIMA JÚNIOR, T. M. A. MARIZ, A. A. PEREIRA, G. M. SILVA, A. C. A. ALMEIDA. **Fatores antinutricionais e processamento do grão de soja para alimentação animal.** Agropecuária Científica no Semiárido, v. 10, p. 24-33, 2014.

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

LOCK, A. L. 2010. **Update on dietary and management effects on milk fat.** Tri-State Dairy Nutr. Conf., Fort Wayne, IN. The Ohio State University Extension, Columbus. p. 15-26, 2010.

LOPES, L. R., S. THIAGO. **Soja na alimentação de bovinos.** Circular Técnica, Campo Grande, v. 31, 2003.

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

MAIA, M. R. G., L. C. CHAUDHARY, L. FIGUERES, AND R. J. WALLACE. 2007. **Metabolism of polyunsaturated fatty acids and their toxicity to the microflora of the rumen.** Antonie Van Leeuwenhoek v.91, p.303–314, 2007.

MAPA. **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 8.** MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. 25 de mar. 2004. Acesso em: 27 de maio de 2024. disponível em:  
<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumosagropecuarios/insumos-pecuarios/alimentacao-animal/arquivos-alimentacaoanimal/legislacao/instrucao-normativa-no-8-de-25-de-marco-de-2004.pdf/view>.

MARTINS, R. M. R. F. **Transplantação hepática: novos fatores de prognóstico da regulação da função mitocondrial na isquemia/reperfusão.** 2018. Tese de Doutorado. Universidade de Coimbra.

MAUGERI, L. **The Age of Oil: The Mythology, History, and Future of the World's Most Controversial Resource.** Westport: Praeger, 2006.

MEDEIROS, S. R.; MARINO, C. T. **Proteínas na nutrição de bovinos de corte.** Embrapa Gado de Corte-Capítulo em livro científico, 2015.

MORRIS, D. L.; KIM, S. H.; KONONOFF, P. J.; LEE, C. **Continuous 11-week feeding of reduced-fat distillers grains with and without monensin reduces lactation performance of dairy cows.** J. Dairy Sci., v. 101, p. 5971–5983, 2018.

MOURA, W. C. O. **Soja integral processada em dietas para codornas japonesas em postura.** 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 2007.

MUTSVANGWA, T.; DAVIES, K. L.; MCKINNON, J. J.; CHRISTENSEN, D. A. **Effects of dietary crude protein and rumen-degradable protein concentrations on urea recycling, nitrogen balance, omasal nutrient flow, and milk production in dairy cows.** J. Dairy Sci., v. 99, p. 6298–6310, 2016.

NASEM, 2021. **Nutrient Requirements of Dairy Cattle.** 8th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.

NOUSIAINEN, J.; SHINGFIELD, K. J.; HUHTANEN, P. **Evaluation of milk urea nitrogen as a diagnostic of protein feeding.** J. Dairy Sci., v. 87, p. 386–398, 2004.

NRC - **National Research Council.** Nutrient requirements of dairy cattle. Updated 7th. ed. Washington, DC: National Academy Press, 2001.

NUTTELMAN, B. L., GRIFFIN, W. A., BENTON, J. R., ERICKSON, G., KLOPFENSTEIN, T. **Comparing dry, wet, or modified distillers grains plus solubles on feedlot cattle performance.** Nebraska Beef Cattle Reports, v. 619, p. 50-52, 2011.

- PEREIRA, A. M. **Influência da fonte de proteína da dieta total sobre o desempenho de vacas holandesas em lactação.** Cienc. Agrotec., v. 24, p. 773-781, 2000.
- POGGE, D. J., M. E. DREWNOSKI, AND S. L. HANSEN. 2014. **High dietary sulfur decreases the retention of copper, manganese, and zinc in steers.** J. Anim. Sci., v. 92, p. 2182–2191, 2014.
- RANATHUNGA, S. D. KALSCHEUR, K. F. HERRIKC, K. J. **Ruminal fermentation, kinetics, and total-tract digestibility of lactating dairy cows fed distillers dried grains with solubles in low- and high-forage diets.** J. Dairy Sci., v. 102, p. 7980-7996, 2019.
- RIUS, A. G. MCGILLIARD, M. L.; UMBERGER, C. A.; HANIGAN, M. D. **Interactions of energy and predicted metabolizable protein in determining nitrogen efficiency in the lactating dairy cow.** J. Dairy Sci., v. 93, p. 2034–2043, 2010.
- RULQUIN, H.; KOWALCZYK, J. **Development of a method for measuring lysine and methionine bioavailability in rumen-protected products for cattle.** Journal of Animal and Feed Science, v. 12, p.465-474, 2003.
- SANTOS, F. A. P., PEDROSO, A. M. METABOLISMO DE PROTEÍNAS. IN: BERCHIELLI, T. T., PIRES A.V., OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de ruminantes.** 2<sup>a</sup> ed. Jaboticabal: Funep. p.265-297, 2011.
- SANTOS, J. E. P., J. T. HUBER, C. B. THEURER, L. G. NUSSIO, M. TARAZON, AND F. A. P. SANTOS. 1999. **Response of lactating dairy cows to steam-flaked sorghum, steam-flaked corn, or steam-rolled corn and protein sources of differing degradability.** J. Dairy Sci., v. 82, p. 728–737, 1999.
- SANTOS, O. A. **Bioquímica Brasil: produção de etanol a partir de milho, conceitos e operação. Produção de Etanol a partir de milho, conceitos e operação.** 2019. Disponível em:

<<https://bioquimicabrasil.com/2019/07/20/producao-de-etanol-a-partir-de-milho-conceitos-e-operacao/>>. Acesso em: 19 fevereiro. 2024.

SCHWAB, C. G.; BRODERICK, G. A. **A 100-Year Review: Protein and amino acid nutrition in dairy cows**. J. Dairy Sci., v. 100, p. 10094–10112, 2017.

SHIN, E. C., SHURSON, G. C., GALLAHER, D. D. **Antioxidant capacity and phytochemical content of 16 sources of corn distillers dried grains with solubles (DDGS)**. Animal Nutrition, v. 4, p. 435–441, 2018.

SILVA, J. R., D. P. NETTO, V. M. SCUSSEL. **Grãos secos de destilaria com solúveis, aplicação em alimentos e segurança: revisão**. Pubvet, v. 10, p. 257-270, 2016.

SILVA, M. R., M. A. A. P. D. SILVA. **Fatores antinutricionais: Inibidores de proteases e lectinas**. Revista de Nutrição, v. 13, p. 3-9, 2000.

SOK, M.; OUELLET, D. R.; FIRKINS, J. L.; PELLERIN, D.; LAPIERRE, H. **Amino acid composition of rumen bacteria and protozoa in cattle**. J. Dairy Sci., v. 100, p. 5241–5249, 2017.

SPEK, J. W.; BANNINK, A.; GORT, G.; HENDRIKS, W. H.; DIJKSTRA, J. **Interaction between dietary content of protein and sodium chloride on milk urea concentration, urinary urea excretion, renal recycling of urea, and urea transfer to the gastrointestinal tract in dairy cows**. J. Dairy Sci., v. 96, p. 5734–5745, 2013.

UNEM – **União Nacional do Etanol de Milho, 2021**. Disponível em: <<https://etanoldemilho.com.br/home/institucional/como-atuamos/>>. Acesso em: 19 de fevereiro de 2024.

UNEM – **União Nacional do Etanol de Milho, 2025**. Disponível em: <https://etanoldemilho.com.br/dados-setoriais/>. Acesso em: 12 mar. 2025.

VAGA, M. **Investigating ruminal nitrogen metabolism**. Tese de Doutorado - Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Suécia, 2017

VAN SOEST, P.J. **Nutritional Ecology of the Rumen**, 2<sup>nd</sup> edition. Cornell University. p. 4. 1994.

WALLACE, R. J. **Ruminal microbial metabolism of peptides and amino acids**. In: American Society for Nutrition, 1996.

WHEELLOCK, J. B., RHOADS, R. P., VANBAALE, M. J., SANDERS, S. R., BAUMGARD, L. H. **Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows**. J. Dairy Sci., v. 93, p. 644–655. 2010.

YODER, P. S.; HUANG, X.; TEIXEIRA, I. A.; CANT, J. P.; HANIGAN, M. D. **Effects of jugular infused methionine, lysine, and histidine as a group or leucine and isoleucine as a group on production and metabolism in lactating dairy cows**. J. Dairy Sci., v. 103, p. 2387–2404, 2020.

ZHANG, S. Z., PENNER, G. B., YANG, W. Z., OBA, M. **Effects of partially replacing barley silage or barley grain with dried distillers grains with solubles on rumen fermentation and milk production of lactating dairy cows**. J. Dairy Sci., v. 93, p. 3231– 3242, 2010.

ZHAO, X.; ZANG, C.; ZHAO, S.; ZHENG, N.; ZHANG, Y.; WANG. **Assessing milk urea nitrogen as an indicator of protein nutrition and nitrogen utilization efficiency: A meta-analysis**. J. Dairy Sci., v. 108, p. 4851–4862, 2025.

ZYNDA, H. M., J. E. COPELIN, L. R. REBELO, W. P. WEISS, M. WILKEN, C. LEE. 2022. **Effects of corn distillers grains with yeast bodies and manipulation of dietary cation and anion difference on production, nutrient digestibility, and gas emissions from manure in lactating cows**. J. Dairy Sci., v. 105, p. 8054–8068, 2022.

3TENTOS. **Farelo de soja: o principal ingrediente proteico da nutrição animal.**

3tentos, 2022. Disponível em: <https://www.3tentos.com.br/triblog/post/90>. Acesso em: 11 jul. 2025.

## **2 CAPÍTULO II – COMPARAÇÃO ENTRE DUAS FONTES DE PROTEÍNA NÃO DEGRADÁVEL NO RÚMEN NA DIETA DE VACAS EM LACTAÇÃO E SEU IMPACTO NO DESEMPENHO PRODUTIVO**

### **2.1 INTRODUÇÃO**

No Brasil, o farelo de soja constitui a principal fonte de proteína nas dietas de vacas leiteiras; entretanto, sua utilização é limitada pela competição com outras cadeias produtivas (alimentação humana, aves, suínos, peixes e cães), o que resulta em alta demanda e variação de preços. Nesse contexto, a elevação do custo das rações associada à redução do valor do leite tem incentivado a busca por alternativas que diminuam o custo das dietas. Portanto, tem-se procurado fontes de alimentos proteicos, alternativos ao farelo de soja que atendam às exigências de proteína de forma semelhante (MIGLIANO et al., 2016).

O grão seco de destilaria (DDG), coproduto resultante da extração de etanol a partir do grão de milho, tem se consolidado como alternativa promissora na substituição parcial ao farelo de soja, na dieta de vacas leiteiras. Além de ser uma excelente fonte de proteína e energia (BRAUNGARDT et al., 2010), o DDG apresenta vantagens econômicas e nutricionais. O DDG de alta proteína (HPDDG), por exemplo, tipicamente possui custo significativamente menor (R\$1,90/kg) em comparação ao FSBDR (R\$2,70/kg), o que pode contribuir diretamente para a redução do custo alimentar e aumento na rentabilidade do produtor.

Do ponto de vista nutricional, o HPDDG possui perfil de aminoácidos diferenciado em relação a proteína do soja, com alguns aminoácidos em menor proporção (por exemplo, lisina e histidina), mas outros em maior concentração (por exemplo, metionina e leucina). Em outras palavras, enquanto os derivados de soja são naturalmente pobres em metionina e ricos em lisina, o HPDDG apresenta maior teor de metionina, reduzindo a desproporção entre esses aminoácidos essenciais. Essa característica melhora a relação lisina:metionina da dieta, aproximando-se de uma proporção mais adequada para a síntese da proteína do leite. A metionina é, ao lado da lisina, um dos aminoácidos deficientes na produção de leite, sendo crucial para funções metabólicas e hormonais no fígado e na glândula mamária. Uma melhor relação entre esses aminoácidos reduz a quantidade necessária de suplementação

específica com metionina protegida, tornando a formulação mais econômica.

Adicionalmente, o HPDDG também se destaca sob o ponto de vista ambiental e de sustentabilidade. Produzido por meio de um ciclo industrial fechado, com zero efluentes de processo, sua fabricação utiliza biomassa 100% renovável, proveniente de eucalipto e bambu. Isso confere ao produto uma pegada de carbono negativa, contribuindo para a mitigação de gases de efeito estufa. Estima-se que o processo evita a emissão de aproximadamente 3 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> por ano, além de gerar excedente de energia elétrica comercializada no mercado a partir de fontes renováveis. Há diferentes produtos no mercado e muitos experimentos já avaliaram o DDGS, porém o presente estudo avaliará o desempenho produtivo de vacas alimentadas com o DDG de Alta Proteína (HPDDG; FS Essential®, FS Bioenergia), um produto relativamente novo na dieta de bovinos leiteiros.

Diante dos desafios enfrentados pela pecuária leiteira nacional, como o elevado custo com alimentação e a pressão por sistemas mais sustentáveis, este estudo abordará questões relevantes para a eficiência e produtividade animal. Ao investigar alternativas nutricionais, este trabalho pode proporcionar avanços significativos no campo da nutrição animal e na economia do setor leiteiro. Assim o objetivo deste estudo foi comparar duas fontes de proteína não degradável no rúmen (PNDR) na dieta de vacas Holandesas e seu impacto na produção e composição do leite.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente projeto foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais do Setor de Ciência Agrárias (CEUA-SCA) da Universidade Federal do Paraná, sob o protocolo número 052/2024.

### 2.2.1 Local, instalações e animais

O experimento foi conduzido em uma fazenda comercial localizada no município de Paula Freitas, no estado do Paraná, Sul do Brasil (Latitude 26° 12' 28" e Longitude 50° 56' 16"). A propriedade conta atualmente com um plantel aproximado de 365 vacas da raça Holandesa em lactação.

No presente experimento, foram utilizadas 288 vacas, sendo 155 multíparas e 133 primíparas com  $142 \pm 83,8$  dias em leite e  $49,9 \pm 10,9$  kg de produção de leite no período pré-experimental. Os animais foram alojados em um sistema de instalação free-stall, com cama de areia e de sólidos de esterco reciclado, comedouro e bebedouro, sistema de ventilação e aspersão nos cochos. O sistema de ordenha é do tipo paralelo com 10 conjuntos duplos e 3 ordenhas diárias (5h00, 13h00 e 21h00).

A temperatura e a umidade dentro do barracão foram monitoradas em intervalos de 30 minutos utilizando o equipamento Data Logger EL-USB-2-LCD (Lascar Electronics Inc., EUA), localizado no centro do barracão e das camas, suspenso a 30 cm acima da altura das vacas. Os dados registrados foram obtidos utilizando o software EasyLog (EasyLog USB; Lascar Electronics Inc., EUA).

O Índice de Temperatura-Umidade (THI) foi calculado pela fórmula de  $THI = T + 0,36 \times SD + 41,2$ ; onde T é a temperatura em °C e SD representa o ponto de orvalho °C, conforme Yousef (1985). O THI médio ao longo das horas do durante no decorrer do experimento está demonstrado na FIGURA 3.

Foram registradas 3010 gravações em intervalos de 30 minutos. O THI médio foi de  $66,5 \pm 4,71$ , onde 33% das observações estavam acima do limiar de termoneutralidade de 68. A temperatura e umidade média foram de  $19,8 \pm 3,9^{\circ}\text{C}$  e  $76,0 \pm 11,9\%$ , respectivamente. Isso demonstra que as vacas sofreram um pequeno grau de estresse térmico nas horas mais quentes do dia (das 12:00 às 18:00h), ao longo do período experimental.

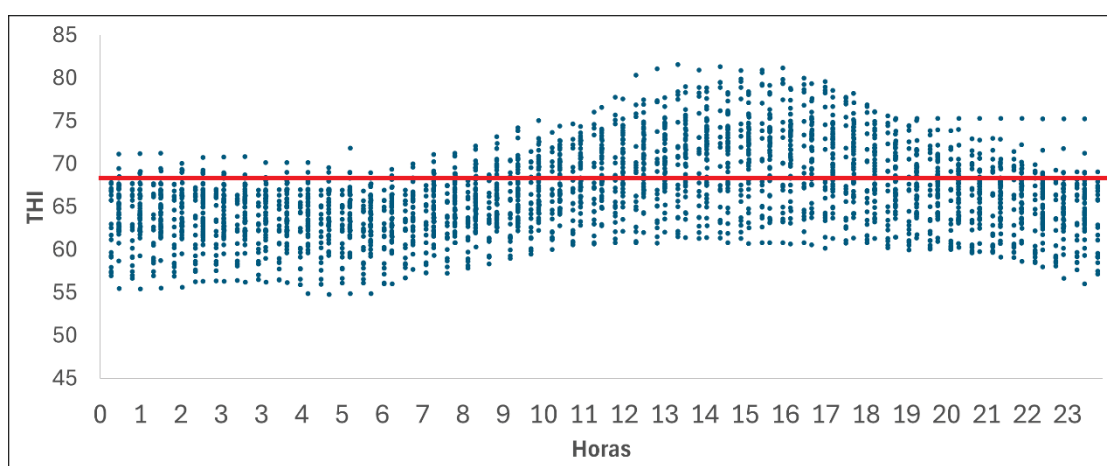


FIGURA 3. Índice THI ao longo do dia durante todo o experimento.

### 2.2.2 Delineamento experimental

O experimento ocorreu no período de 21 de agosto a 13 de novembro de 2024. O delineamento adotado foi o cross-over (cruzado), com um período pré-experimental de 1 semana para blocagem das vacas, um primeiro período experimental de 5 semanas, a inversão ou cruzamento dos tratamentos, e mais 5 semanas de um segundo período experimental, totalizando 10 semanas ou 70 dias de período experimental.

O grupo experimental foi composto por 288 vacas, onde os animais foram divididos em dois grupos; 144 animais foram alocados no grupo FSBDR (dieta contendo farelo de soja de baixa degradabilidade ruminal) e 144 animais foram incluídos no grupo HPDDG (dieta contendo DDG de alta proteína), totalizando 144 blocos.

Nos últimos três dias do primeiro período experimental foram feitas coletas de amostras de leite individuais de 9 ordenhas consecutivas, mensuração de peso e coleta de sangue. Finalizados os 35 dias do primeiro período experimental, os tratamentos foram invertidos. E ao final do segundo período experimental, novamente nos últimos três dias do período, foram feitas coletas de amostras de leite individuais de 9 ordenhas consecutivas, mensuração de ECC e coleta de sangue.

### 2.2.3 Dietas experimentais

As dietas experimentais foram formuladas de acordo com as exigências nutricionais de vacas leiteiras, recomendadas pelo NASEM (2021), e estão descritas na TABELA 2.

As vacas foram alimentadas *ad libitum* na forma de dieta total misturada (TMR), os tratamentos eram batidos separadamente no vagão misturador e fornecidos duas vezes ao dia no período da manhã (5h00 e 9h00), para ambos os lotes, durante todo o período experimental.

TABELA 2. Ingredientes e nível de inclusão (%MS) dos ingredientes nas dietas experimentais FSBDR e HPDDG.

| Ingredientes, %MS                      | FSBDR <sup>1</sup> | HPDDG <sup>2</sup> |
|----------------------------------------|--------------------|--------------------|
| Silagem de milho                       | 30,41              | 30,42              |
| Silagem de trigo                       | 10,26              | 9,77               |
| Palha de trigo                         | 1,03               | 1,03               |
| Milho grão seco, moído fino            | 14,86              | 14,87              |
| Silagem de grão úmido de milho         | 9,58               | 9,58               |
| Cevada grão seco, moído                | 3,38               | 3,38               |
| Caroço de algodão                      | 6,96               | 6,96               |
| Farelo de soja 46%PB                   | 10,19              | 10,19              |
| FSBDR <sup>1</sup>                     | 5,59               | -                  |
| HPDDG <sup>2</sup>                     | -                  | 6,05               |
| Soja grão crua, quebrada               | 5,09               | 5,10               |
| Núcleo mineral-vitamínico <sup>3</sup> | 2,66               | 2,66               |

<sup>1</sup> Farelo de soja de baixa degradabilidade ruminal (Soypass, Cargill); <sup>2</sup> DDG Alta Proteína (HPDDG Essencial, FS Bioenergia); <sup>3</sup> Contém por kg: 156 g Ca, 20 g P, 15 g S, 25 g Mg, 500 mg K, 120 g Na, 12 mg Co, 500 mg Cu, 20 mg Cr, 1.000 mg Mn, 20 mg Se, 2.000 mg Zn, 35 mg I, 165.000 UI Vit A, 50.000 UI Vit D3, 1.000 UI Vit E, 40 mg biotina, 600 mg monensina sódica,  $1,2 \times 10^{11}$  UFC *Saccharomyces cerevisiae*.

O grupo HPDDG recebeu 1,8 kg MN/vaca/dia de HPDDG (DDG Essencial, FS Bioenergia), enquanto o grupo FSBDR recebeu 1,6 kg MN/vaca/dia de farelo de soja termicamente tratado (Soypass, Cargill), inclusões definidas em conjunto com o nutricionista da fazenda, com a preocupação de manter as dietas experimentais isoproteicas.

Os níveis nutricionais das dietas experimentais estão descritos na TABELA 3, estimados pelos softwares NASEM (2021) e RLM Leite (Ração de Lucro Máximo, v. 3.3.82), com base na composição nutricional informada para cada ingrediente incluído na dieta.

TABELA 3. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS DIETAS EXPERIMENTAIS FSBDR E HPDDG.

| Item                                   | FSBDR | HPDDG |
|----------------------------------------|-------|-------|
| Composição química da dieta            |       |       |
| ELIac <sup>2</sup> , Mcal/kg           | 1,66  | 1,66  |
| Proteína Bruta, % MS                   | 17,64 | 17,50 |
| FDN <sup>3</sup> , % MS                | 27,99 | 28,33 |
| FDA <sup>4</sup> , % MS                | 16,26 | 16,97 |
| Amido, % MS                            | 32,02 | 32,23 |
| Extrato etéreo, % MS                   | 4,74  | 5,48  |
| Proteína Metabolizável, % MS           | 6,11  | 5,65  |
| PNDR <sup>5</sup> , % MS               | 7,15  | 7,01  |
| PDR <sup>6</sup> , % MS                | 10,49 | 10,49 |
| Cálcio, % MS                           | 0,63  | 0,61  |
| Fósforo, % MS                          | 0,43  | 0,42  |
| Sódio, % MS                            | 0,34  | 0,35  |
| Cloro, % MS                            | 0,28  | 0,28  |
| Enxofre, % MS                          | 0,21  | 0,22  |
| Potássio, % MS                         | 1,12  | 1,02  |
| DCAD, mEq/100g                         | 22,81 | 19,58 |
| Balanço de proteína metabolizável, g/d | 72,0  | -90,0 |
| Lisina, % PM                           | 6,28  | 6,14  |
| Metionina, % PM                        | 1,73  | 1,85  |
| Arginina, % PM                         | 4,90  | 4,81  |
| Fenilalanina, % PM                     | 4,99  | 5,10  |
| Histidina, % PM                        | 2,18  | 2,25  |
| Isoleucina, % PM                       | 4,76  | 4,79  |
| Leucina, % PM                          | 8,62  | 9,35  |
| Treonina, % PM                         | 4,65  | 4,77  |
| Triptofano, % PM                       | -     | -     |
| Valina, % PM                           | 5,32  | 5,48  |

<sup>1</sup> Matéria seca; <sup>2</sup> Energia líquida de lactação; <sup>3</sup> Fibra em detergente neutro; <sup>4</sup> Fibra em detergente ácido; <sup>5</sup> Proteína não degradável no rúmen; <sup>6</sup> Proteína degradável no rúmen.

## 2.2.4 Coleta e análises de TMR e volumosos

Amostras da dieta total (TMR) foram coletadas semanalmente e as amostras dos volumosos coletadas quinzenalmente. Todas as amostras foram mantidas congeladas até o fim do experimento, sendo as de TMR enviadas ao ESALQLab da USP, em Piracicaba-SP, e as amostras de volumosos ao Laboratório de Nutrição Animal (LNA) da UFPR, em Curitiba-PR. As amostras compostas foram secas em estufas de ventilação forçada a 55 °C por 72 h e moídas em peneira com crivos de 1 mm de diâmetro (Wiley, Thomas Scientific, Swedesboro, EUA). O teor de matéria seca (MS) foi determinado por secagem a 105 °C por 24 h e as cinzas por incineração a 550 °C por 6 h. O extrato etéreo (EE) e a PB foram analisados de acordo com AOAC (2012). O teor de fibra em detergente neutro (FDN) foi analisado em cadinhos porosos (VAN SOEST; ROBERTSON; LEWIS, 1991), com amilase e sulfito de sódio. Análises de macrominerais também foram realizadas, sendo que os teores de cálcio (Ca), fósforo (P), sódio (Na) e potássio (K) foram determinados no LNA da UFPR (TABELA 4).

TABELA 4 - COMPOSIÇÃO MÉDIA (MÉDIA  $\pm$  DESVIO PADRÃO) DOS INGREDIENTES VOLUMOSOS

| Nutrientes           | Silagem de milho | Silagem de trigo |
|----------------------|------------------|------------------|
| MS <sup>1</sup> , %  | 35,5 $\pm$ 6,08  | 30,6 $\pm$ 2,28  |
| RM <sup>2</sup> , %  | 3,21 $\pm$ 0,33  | 6,47 $\pm$ 1,32  |
| PB <sup>3</sup> , %  | 7,16 $\pm$ 1,56  | 7,88 $\pm$ 0,30  |
| EE <sup>4</sup> , %  | 2,59 $\pm$ 0,42  | 2,63 $\pm$ 0,24  |
| FDN <sup>5</sup> , % | 44,2 $\pm$ 8,31  | 63,3 $\pm$ 4,02  |
| FDA <sup>6</sup> , % | 24,0 $\pm$ 4,82  | 38,5 $\pm$ 2,72  |
| Lignina, %           | 2,73 $\pm$ 0,90  | 7,60 $\pm$ 1,01  |
| Ca <sup>7</sup> , %  | 0,18 $\pm$ 0,03  | 0,27 $\pm$ 0,04  |
| P <sup>8</sup> , %   | 0,20 $\pm$ 0,004 | 0,26 $\pm$ 0,03  |
| Na <sup>9</sup> , %  | 0,04 $\pm$ 0,01  | 0,05 $\pm$ 0,01  |
| K <sup>10</sup> , %  | 0,64 $\pm$ 0,11  | 0,94 $\pm$ 0,22  |

<sup>1</sup> Matéria seca; <sup>2</sup> Resíduo mineral; <sup>3</sup> Proteína bruta; <sup>4</sup> Extrato etéreo; <sup>5</sup>Fibra em detergente neutro; <sup>6</sup> Fibra em detergente ácido; <sup>7</sup> Cálcio; <sup>8</sup> Fósforo; <sup>9</sup> Sódio; <sup>10</sup> Potássio.

### 2.2.5 Produção e análise de leite

A produção de leite (kg/dia) foi mensurada diariamente, resultado da somatória das três ordenhas diárias. O leite corrigido para 3,5% de gordura (kg/d), calculado com base na equação de Gaines (NASEM, 2021):  $0,432 \times \text{kg de leite} + 16,216 \times \text{kg de gordura}$ . A secreção de energia do leite (Leite E; Mcal/d) foi calculada segundo NASEM (2021):  $(0,0929 \times \% \text{ de gordura} + 0,0547 \times \% \text{ de proteína} + 0,0395 \times \% \text{ de lactose}) \times \text{kg de leite}/0,70$ . A produção de leite corrigida para energia também foi calculada:  $\text{PLCE} = [(0,327 \times \text{produção de leite}) + (12,95 \times \text{produção de gordura}) + (7,20 \times \text{kg de proteína})]$ .

As amostras de leite foram coletadas no período pré-experimental por conta da bloqueagem e nos dois períodos experimentais. Nos 3 períodos, as coletas de leite foram realizadas em 9 ordenhas em sequência (3 dias) em cada período, totalizando 27 amostras coletadas individualmente de cada vaca experimental. O leite foi coletado por amostradores a vácuo acoplados no sistema de ordenha, coletando uma amostra composta do leite, individual de cada vaca durante a ordenha. Após a coleta, o leite foi armazenado em frascos com conservante bronopol (2-bromo-2- nitropropano-1,3-diol).

As amostras foram posteriormente enviadas ao Laboratório Centralizado de Análise de Leite da Associação Paranaense de Criadores de Bovinos da Raça Holandesa (APCBRH) para análise de gordura, proteína, lactose, sólidos totais, caseína, nitrogênio ureico do leite (NUL) e contagem de células somáticas (CCS). A contagem de células somáticas (CCS) foi convertida para uma escala linear de 0 a 9 utilizando a equação:  $\text{EL} = [\log_2(\text{CCS}/100.000)] + 3$ , o que permite a normalização dos dados e facilita a análise e interpretação dos resultados (SHOOK, 1984).

Estas amostras de leite também foram analisadas para perfil de AG da gordura do leite (g/100g de gordura, g/100g de leite e kg/d): AG saturados, AG monoinsaturados, AG polinsaturados, AG palmítico, AG esteárico, AG oleico, AG de novo, AG misto e AG pré-formado, todos eles por metodologia de espectrometria de infravermelho médio com transformada de Fourier (FTIR).

### 2.2.6 Peso corporal

Os animais foram pesados no canzil de contenção, ao final do 1º e do 2º período experimental por meio de uma fita para obtenção do perímetro torácico e estimativa do peso corporal. A magnitude de perda ou ganho de peso vivo foi calculada através da diferença entre PV\_final - PV\_inicial (kg).

### 2.2.7 Metabólitos sanguíneos

O perfil metabólico dos animais foi determinado através de duas coletas de sangue, ao final do 1º e do 2º períodos experimentais, das 05h00 às 10h00 (10 mL) da veia ou artéria coccígea, por sistema a vácuo, em tubo sem anticoagulante. Após a coleta, as amostras foram armazenadas na geladeira, até o procedimento de centrifugação (15 minutos a 2.500 x g), quando o soro resultante foi pipetado em tubos *ependorf* de 1,5 mL (em duplicata) e conservado sob refrigeração -20°C até o transporte ao Laboratório de Patologia Clínica Veterinária da UFPR, em Curitiba-PR, para análise em equipamento bioquímico automatizado (BS200 Mindray Starlab). As análises bioquímicas realizadas foram proteína total, ureia, glicose, albumina e colesterol. Com a diferença entre proteína total e albumina foi possível estimar a concentração da globulina presente no sangue.

### 2.2.8 Análises estatísticas

O delineamento experimental adotado foi cross-over. Os dados foram analisados para produção e composição do leite, usando o procedimento MIXED do programa SAS (v.9.4). O modelo estatístico incluiu os efeitos aleatórios de bloco e vaca aninhada em período, os efeitos fixos de tratamento (FSBDR ou HPDDG), período (1 e 2), tempo (dias 33, 34 e 35) e suas interações (tratamento\*período e tratamento\*ordem).

Foi realizado o teste de normalidade dos resíduos de todas as variáveis. Cinco estruturas de covariância foram testadas: componentes de variância (VC), simétrica composta (CS), auto-regressiva de primeira ordem [AR(1)], Toeplitz (TOEP) e não-estruturada (UN). A estrutura de covariância que apresentou menor valor do critério

de informação de Akaike corrigido (AICC) para cada variável foi escolhida. Para análise de metabólitos sanguíneos foi utilizado o procedimento GLM do mesmo programa. Os resultados foram considerados estatisticamente significativos quando  $P \leq 0,05$ , e indicaram tendência quando  $P$  esteve entre 0,05 e 0,10.

Durante o 1º período experimental foram excluídos 10 animais (7 animais do grupo FSBDR e 3 do grupo HPDDG). Do grupo FSBDR três vacas foram removidas por motivo de ocorrência de mastite ou problema locomotor, três morreram após queda e uma foi descartada. Do grupo HPDDG três vacas foram removidas por problemas locomotores não relacionados aos tratamentos.

Durante o 2º período experimental foram excluídos 29 animais (11 animais do grupo FSBDR e 18 do HPDDG). Do grupo FSBDR 9 vacas foram destinadas ao lote de baixa produção, uma foi descartada e uma morreu. Do grupo HPDDG 8 vacas foram destinadas ao lote de baixa produção, 3 vacas foram descartadas, 5 vacas foram removidas por problema locomotor ou ocorrência de mastite e 2 vacas morreram por causas não relacionadas ao experimento. Também incluímos 31 animais que entraram somente no 2º período experimental (15 animais do grupo FSBDR e 16 do grupo HPDDG).

## 2.3 RESULTADOS

### 2.3.1 Produção de leite

Foram realizadas comparações de produção e composição do leite entre as vacas dos tratamentos FSBDR e HPDDG, conforme demonstrado na TABELA 5.

TABELA 5. Produção, composição do leite e escore linear de CCS em vacas tratadas com FSBDR e HPDDG.

| Item                                       | FSBDR <sup>2</sup> | HPDDG <sup>3</sup> | EPM <sup>1</sup> | Valor <i>P</i> |
|--------------------------------------------|--------------------|--------------------|------------------|----------------|
| <b>kg/d</b>                                |                    |                    |                  |                |
| Produção de leite semanal<br>(1-5ª semana) | 48,5               | 49,2               | 0,303            | 0,103          |
| Produção de leite dias 33-35               | 49,15              | 50,27              | 0,401            | 0,048          |

|                                       |       |       |        |       |
|---------------------------------------|-------|-------|--------|-------|
| (últimos 3d de cada período)          |       |       |        |       |
| PLC3,5%G <sup>4</sup>                 | 49,49 | 48,68 | 0,593  | 0,33  |
| PLCE <sup>5</sup>                     | 49,55 | 49,17 | 0,579  | 0,64  |
| Gordura                               | 1,740 | 1,662 | 0,023  | 0,02  |
| Proteína                              | 1,523 | 1,559 | 0,019  | 0,18  |
| Lactose                               | 2,327 | 2,373 | 0,03   | 0,28  |
| Caseína                               | 1,229 | 1,255 | 0,015  | 0,22  |
| Sólidos totais                        | 6,086 | 6,099 | 0,071  | 0,90  |
| <b>% do leite</b>                     |       |       |        |       |
| Gordura                               | 3,58  | 3,36  | 0,036  | <0,01 |
| Proteína                              | 3,10  | 3,12  | 0,015  | 0,45  |
| Lactose                               | 4,72  | 4,71  | 0,01   | 0,63  |
| Caseína                               | 2,50  | 2,51  | 0,011  | 0,50  |
| Sólidos totais                        | 12,40 | 12,19 | 0,047  | <0,01 |
| ELlac <sup>6</sup> , Mcal/kg          | 0,689 | 0,669 | 0,0038 | <0,01 |
| NUL <sup>7</sup> , mg/dL              | 14,54 | 12,54 | 0,173  | <0,01 |
| Escore linear CCS, 0 a 9 <sup>8</sup> | 2,99  | 3,09  | 0,10   | 0,58  |

<sup>1</sup> Erro padrão médio; <sup>2</sup> FSBDR: farelo de soja de baixa degradabilidade ruminal; <sup>3</sup> HPDDG: grãos secos de destilaria de alta proteína; <sup>4</sup> PLC 3,5%G: produção de leite corrigida para 3,5%G;  $PLC3,5\%G = (0,432 \times PL) + (16,216 \times G(\text{kg}))$ ; <sup>5</sup> PLCE: produção de leite corrigida para energia;  $PLCE = (0,327 \times PL) + (12,95 \times G(\text{kg})) + (7,20 \times P(\text{kg}))$ ; <sup>6</sup> ELlac: energia líquida de lactação;  $ELlac (\text{Mcal/kg}) = (9,29 \times \text{kgG/kgL}) + (5,5 \times \text{kgP/kgL}) + (3,95 \times \text{kgL/kgL})$ ; <sup>7</sup> NUL: nitrogênio ureico no leite; <sup>8</sup> Escore linear de CCS (contagem de células somáticas) obtido através da fórmula  $EL = [\text{Log}_2 (\text{CCS}/100.000)] + 3$ ; 2,99 = 99.310 células/mL e 3,09 = 106.500 células/mL.

As vacas do grupo HPDDG apresentaram mais altas produções ( $P=0,048$ ) em comparação ao grupo FSBDR, produzindo 1,1 kg/vaca/dia a mais nos últimos três dias experimentais (dias 33, 34 e 35), conforme demonstrado no GRÁFICO 1. Entretanto, não houve diferença ( $P=0,10$ ) entre os tratamentos FSBDR e HPDDG para produção de leite semanal (GRÁFICO 2), produção de leite corrigida para 3,5% de gordura ( $P=0,33$ )(GRÁFICO 3) e produção de leite corrigida para energia ( $P=0,64$ )(GRÁFICO 4).

GRÁFICO 1. Produção de leite nos últimos três dias experimentais.

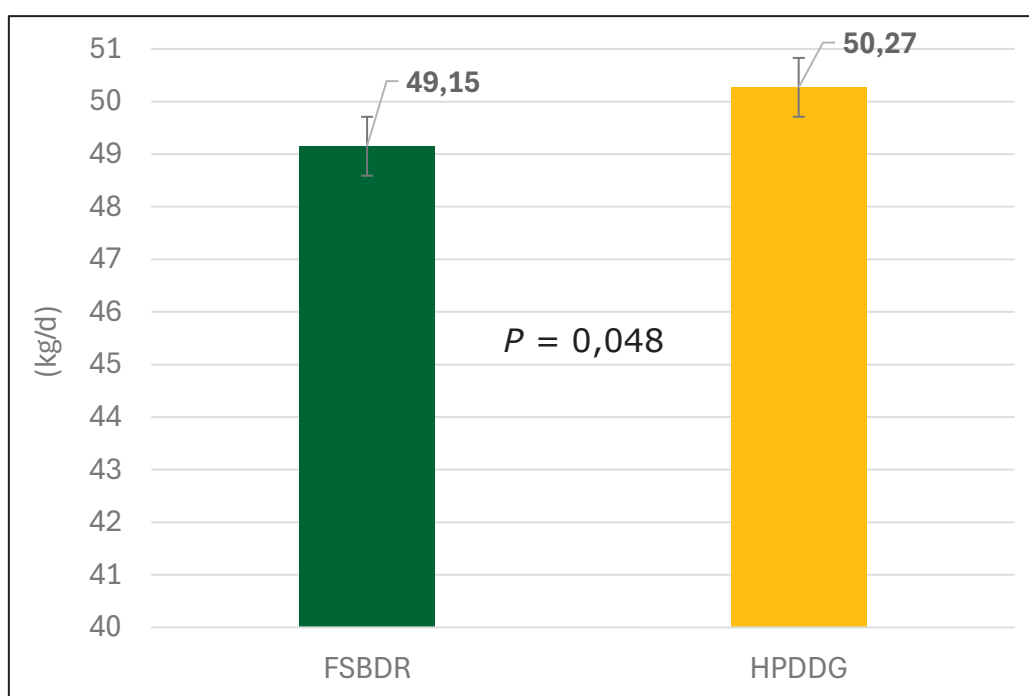


GRÁFICO 2. Produção de leite semanal.

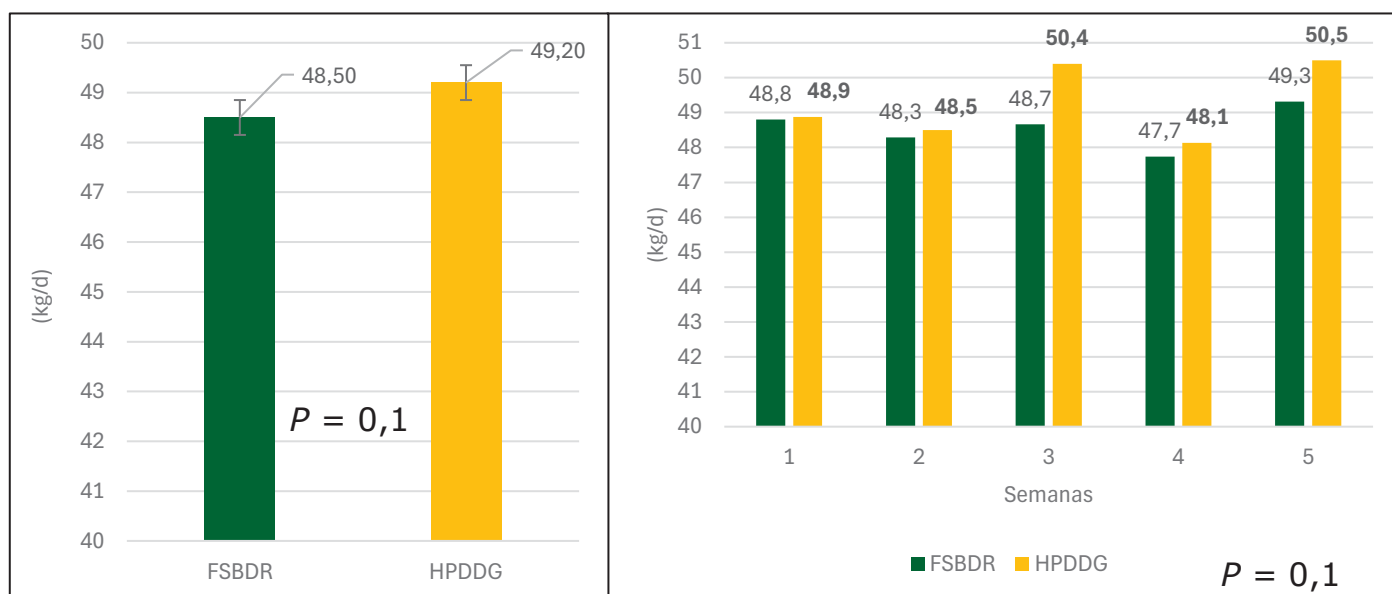
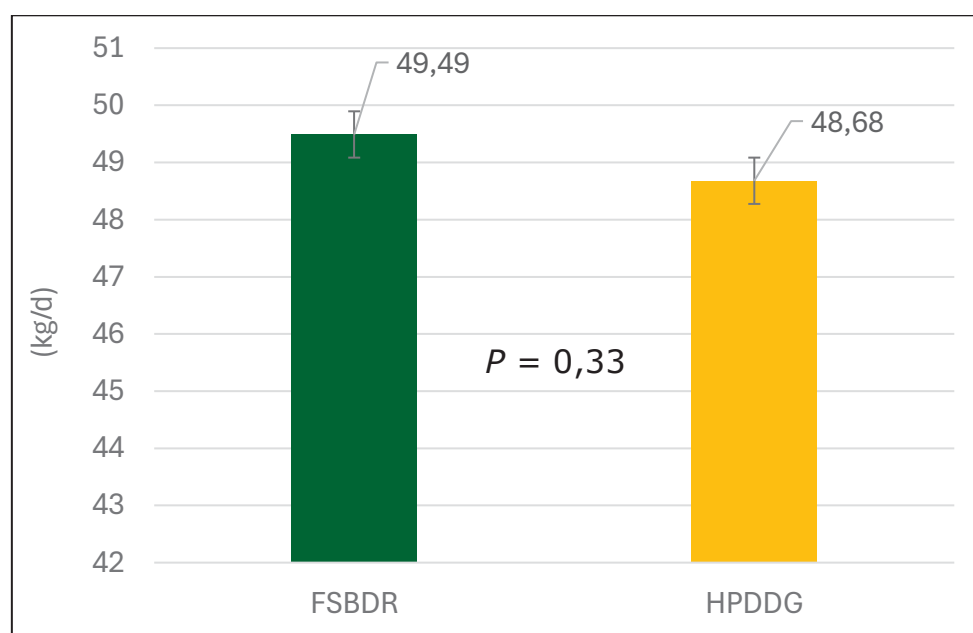
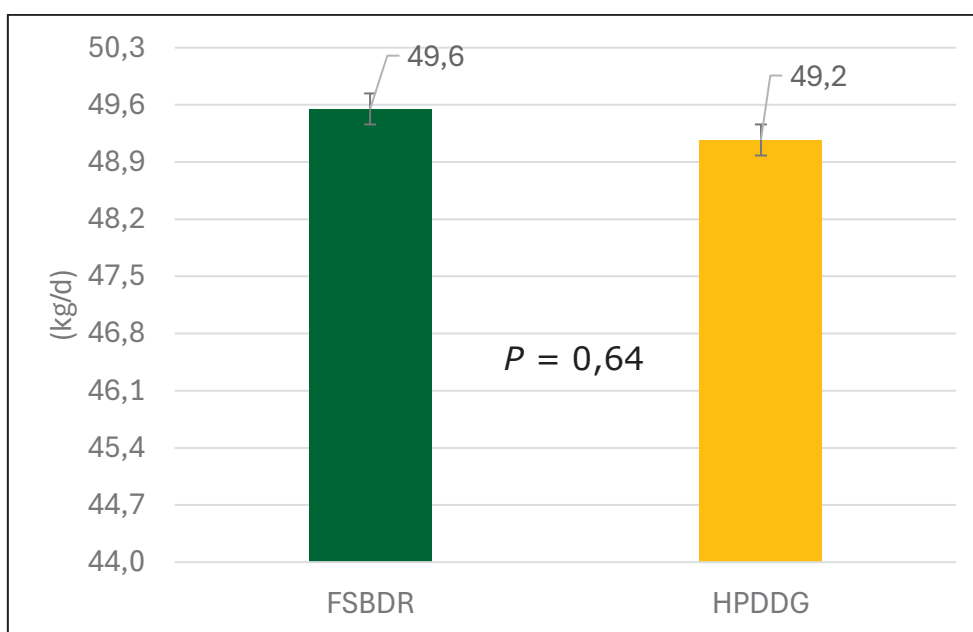


GRÁFICO 3. Produção de leite corrigida para 3,5% de gordura.



$$PLC_{3,5\%G} = (0,432 \times PL) + (16,216 \times G(\text{kg}))$$

GRÁFICO 4. Produção de leite corrigida para energia.



$$PLCE = (0,327 \times PL) + (12,95 \times G(\text{kg})) + (7,20 \times P(\text{kg}))$$

### 2.3.2 Composição do leite

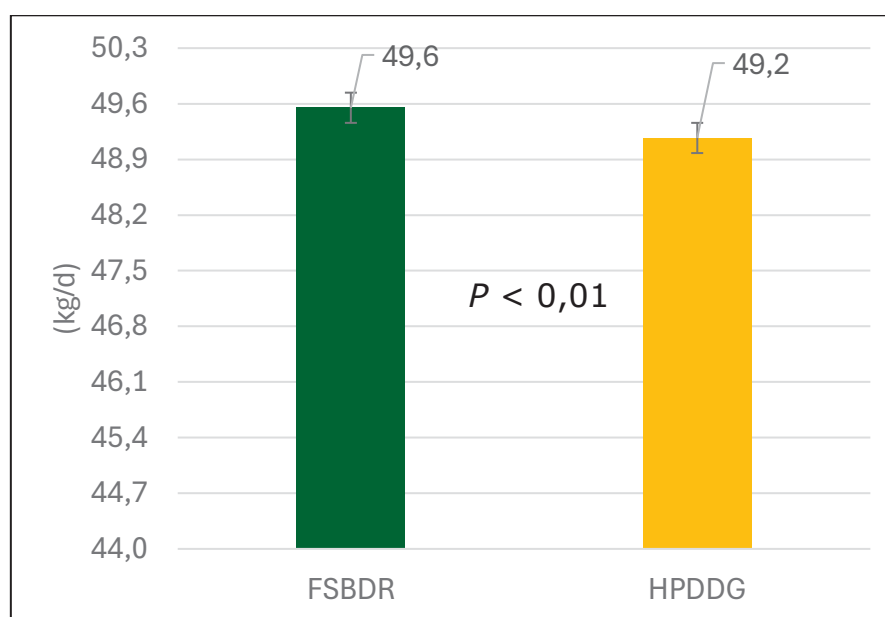
Comparando os tratamentos, foram observadas diferenças ( $P < 0,01$ ) nos seguintes componentes do leite: teor e produção de gordura (GRÁFICO 5), energia líquida de lactação (GRÁFICO 6), teor de sólidos totais (GRÁFICO 7) e nitrogênio ureico no leite (GRÁFICO 8).

Não houve diferenças ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos FSBDR e HPDDG no teor e produção de proteína (GRÁFICO 9), teor e produção de caseína (GRÁFICO 10), teor e produção de lactose (GRÁFICO 11) e produção de sólidos totais (GRÁFICO 7).

GRÁFICO 5. Porcentagem e produção de gordura.



GRÁFICO 6. Energia líquida de lactação (Mcal/kg).



$$\text{ELLac (Mcal/kg)} = (9,29 \times \text{kgG/kgL}) + (5,5 \times \text{kgP/kgL}) + (3,95 \times \text{kgL/kgL})$$

GRÁFICO 7. Porcentagem e produção de sólidos totais.

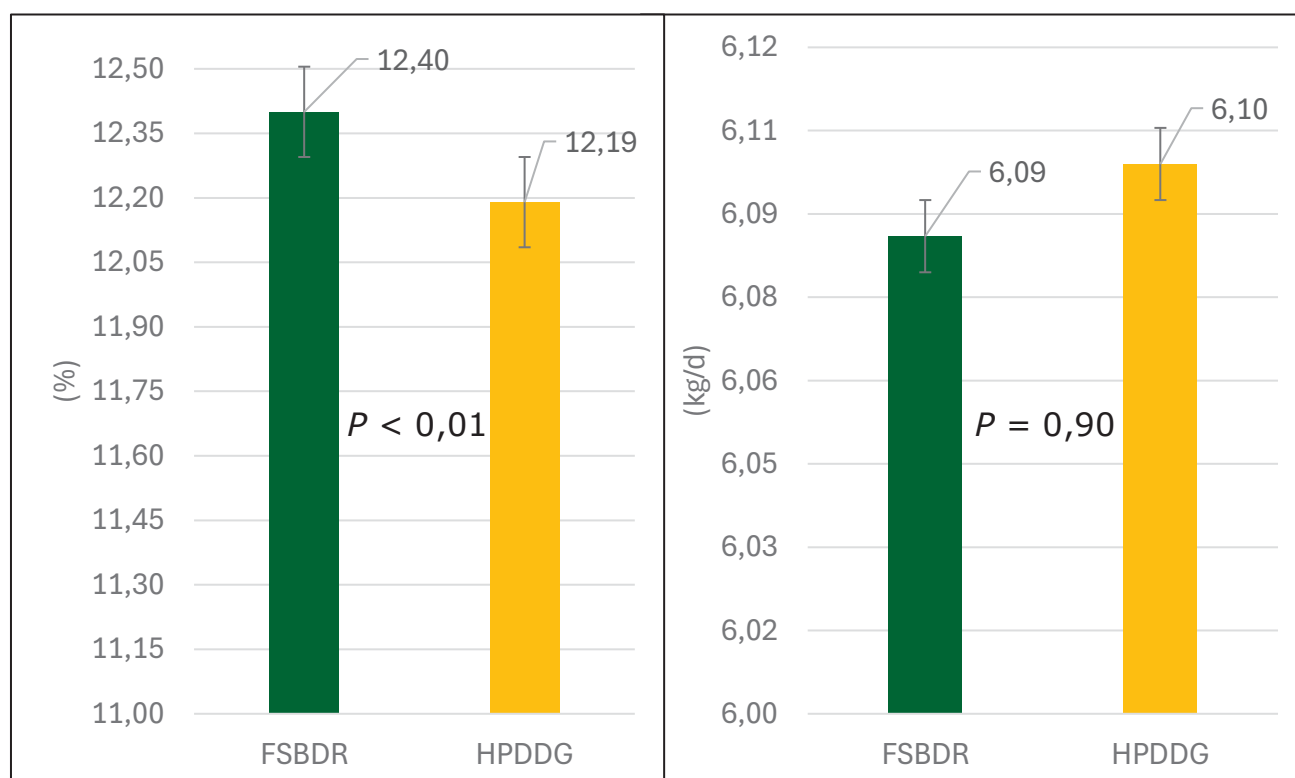


GRÁFICO 8. Nitrogênio ureico no leite (mg/dL).

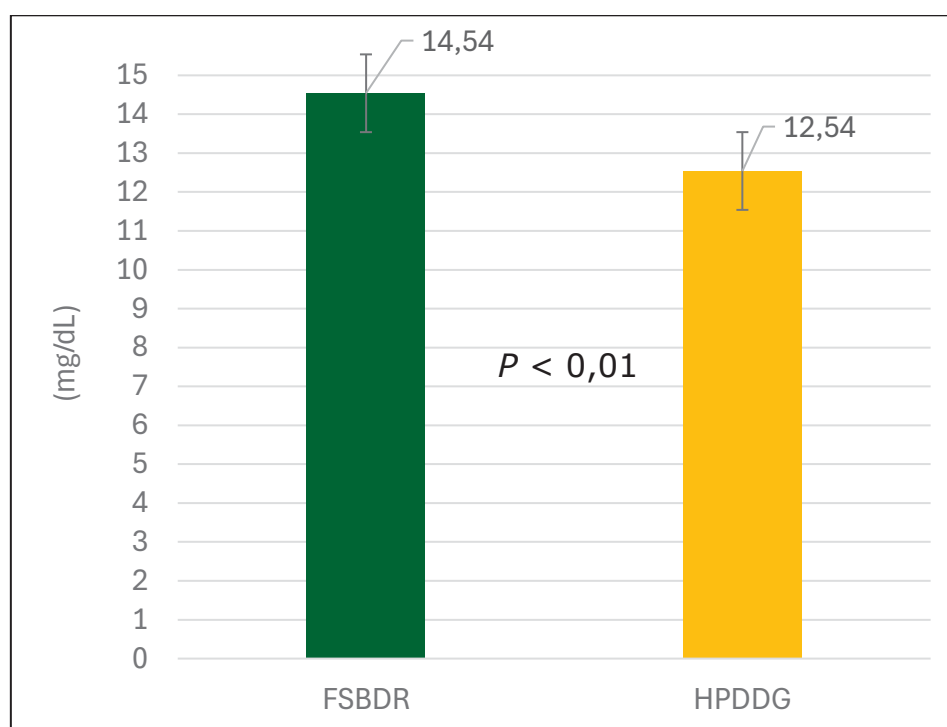


GRÁFICO 9. Porcentagem e produção de proteína.

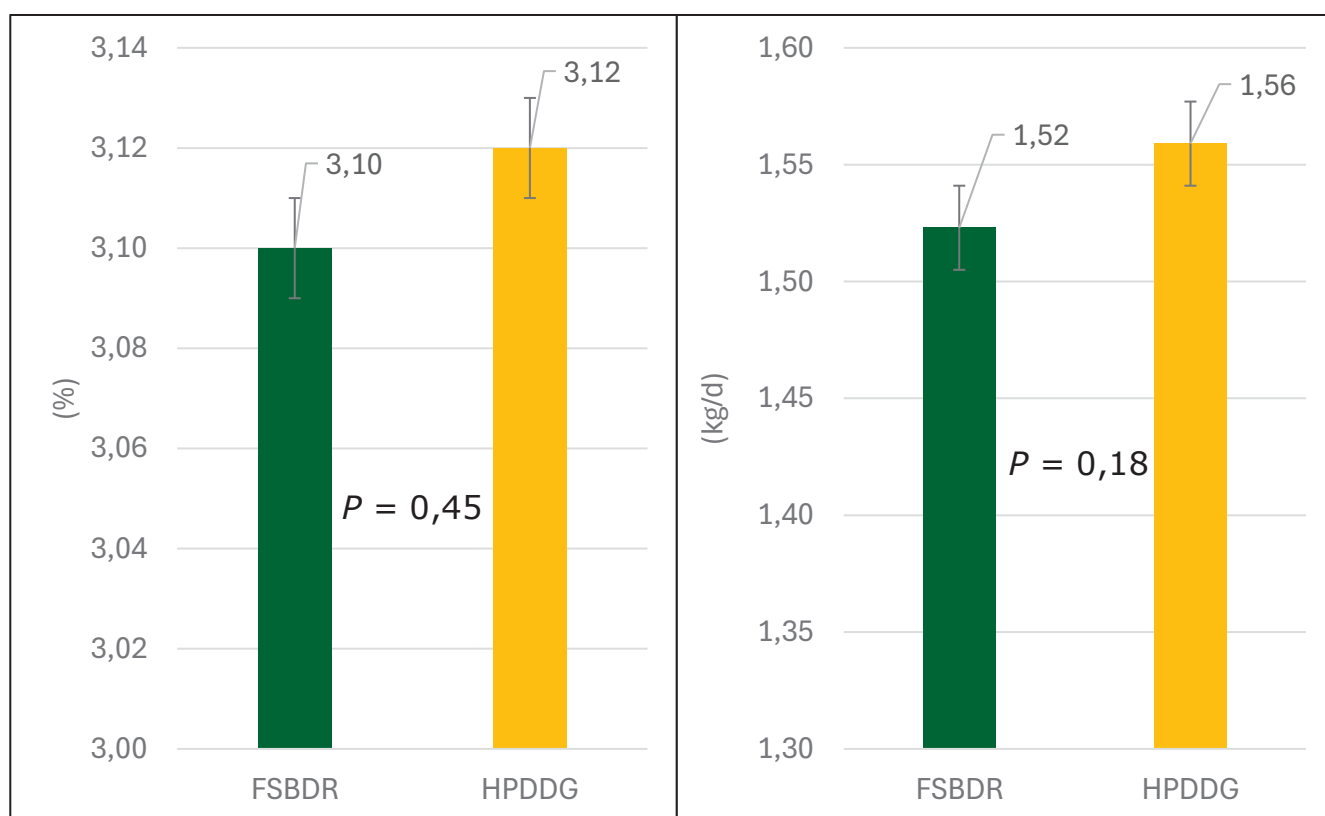


GRÁFICO 10. Porcentagem e produção de caseína.

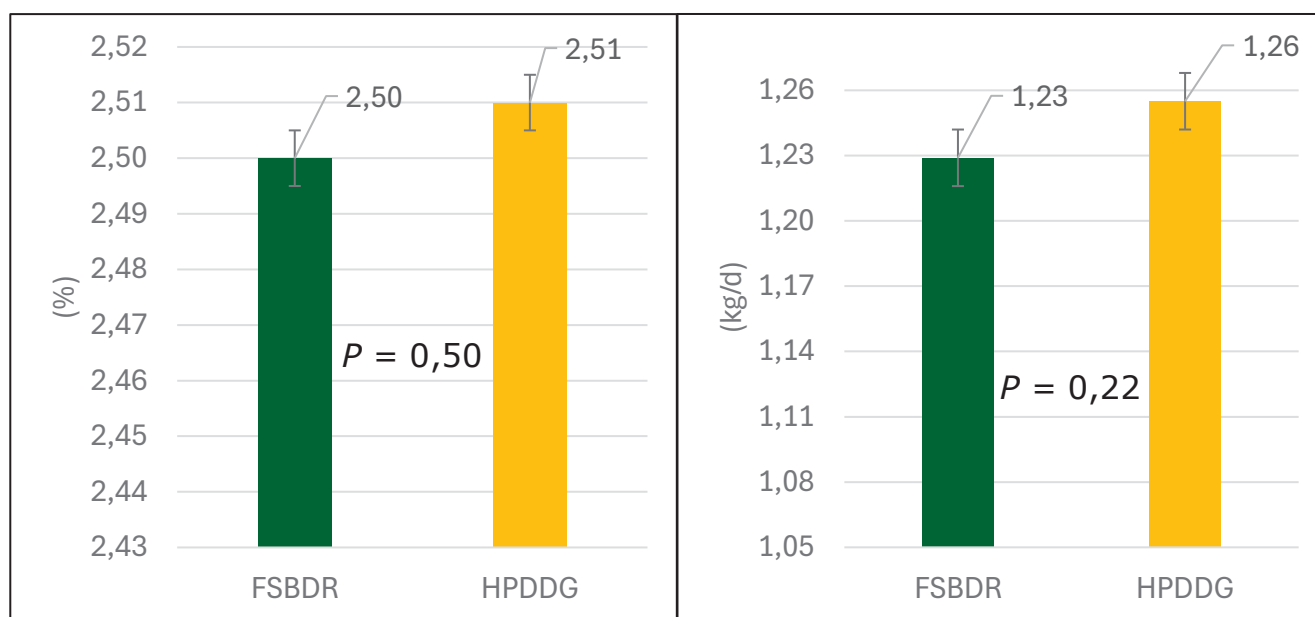
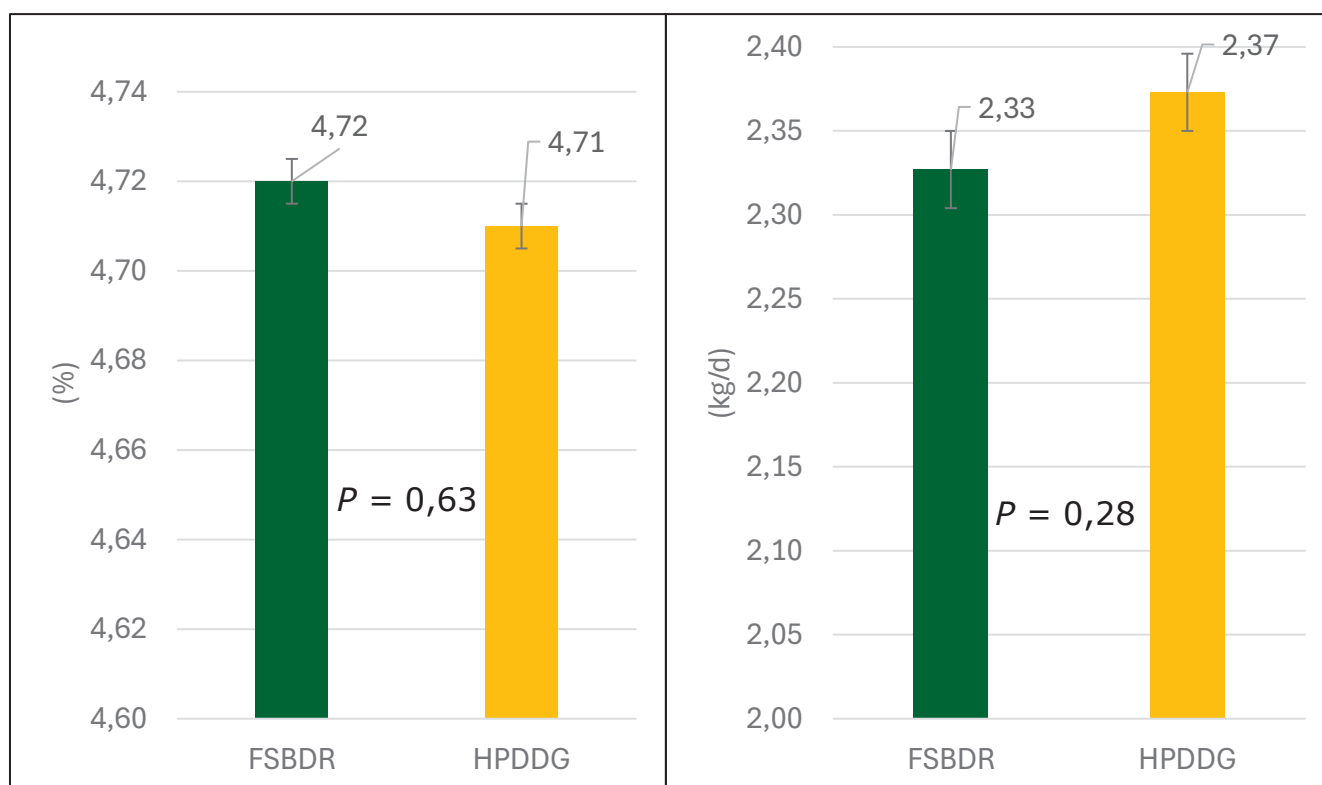


GRÁFICO 11. Porcentagem e produção de lactose.



### 2.3.2.1 Composição da gordura do leite.

Foram realizadas comparações do perfil de ácidos graxos e segundo a origem do ácido graxo entre as vacas dos tratamentos FSBDR e HPDDG, conforme demonstrado na TABELA 6.

Foram observadas diferenças significativas ( $P < 0,01$ ) produção e teor tanto no leite quanto na gordura de AG saturado (GRÁFICO 12), no teor de AG monoinssaturados (GRÁFICO 13), produção e teor de AG polinsaturado (GRÁFICO 14), teor na gordura de ácido graxo insaturado (GRÁFICO 15), produção e teor no leite e na gordura de ácido graxo de novo (GRÁFICO 16), produção e teor no leite e na gordura de ácido graxo misto (GRÁFICA 17), teor no leite e na gordura de de ácido graxo pré-formado (GRÁFICO 18), produção e teor no leite e na gordura de ácido graxo palmítico (GRÁFICO 19), teor no leite e na gordura de ácido graxo esteárico (GRÁFICO 20) e produção e teor no leite e na gordura de ácido graxo oleico (GRÁFICO 21).

GRÁFICO 12. Porcentagem de AG saturado em 100g de leite, em 100g de gordura e em valores absolutos (kg/d).

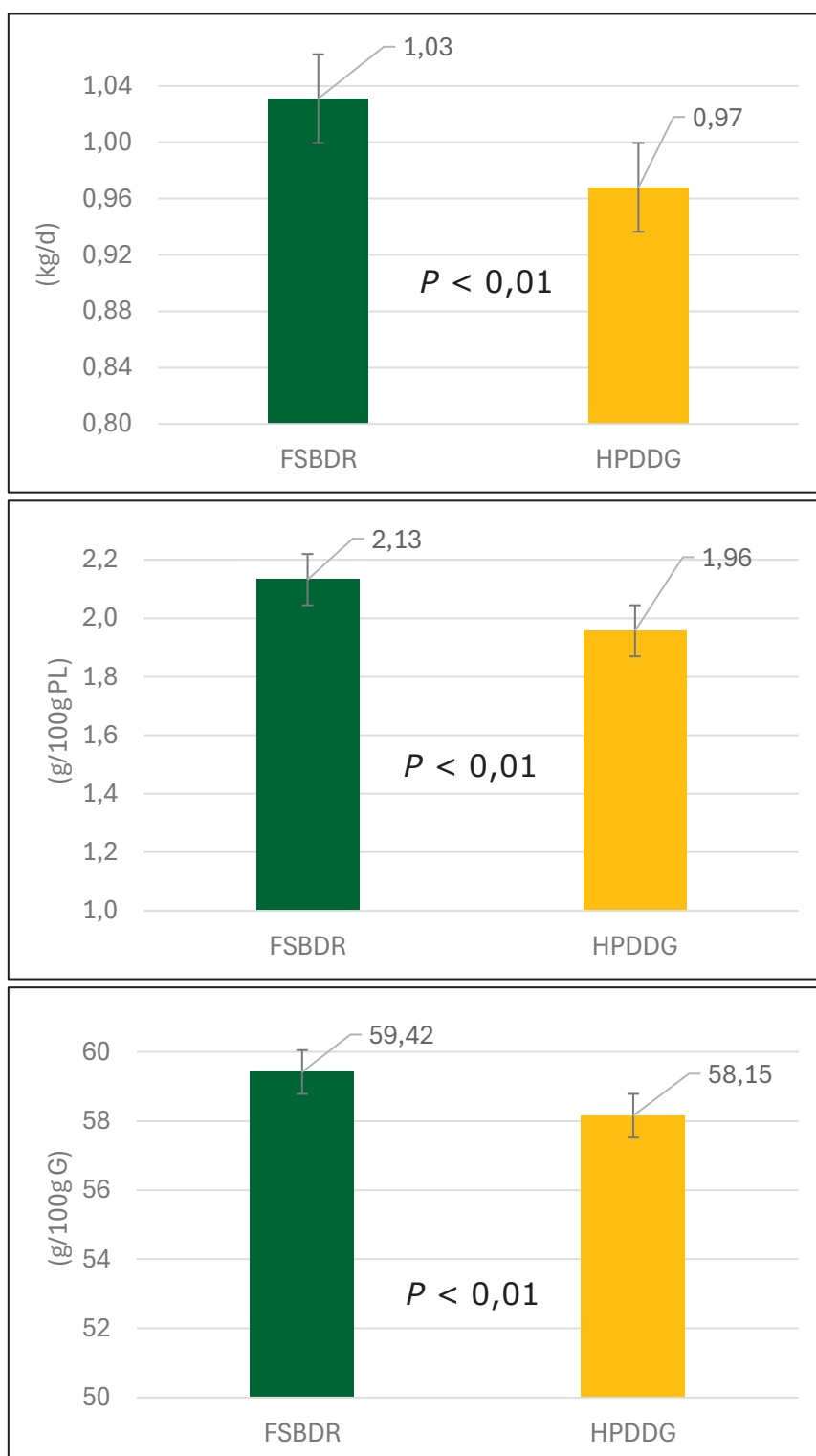


GRÁFICO 13. Porcentagem de AG monoinsaturado em 100g de leite, em 100g de gordura e em valores absolutos (kg/d).

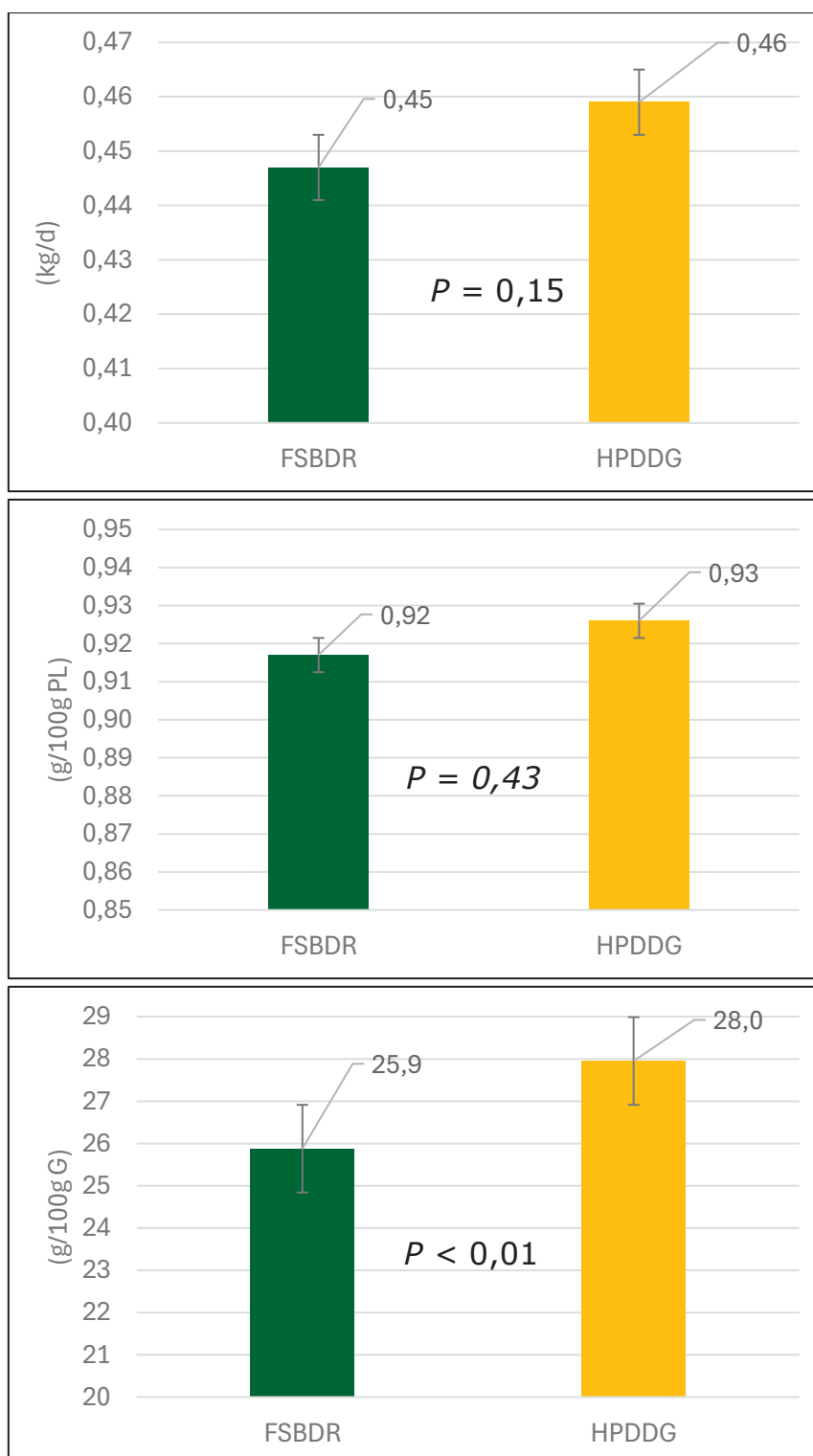


GRÁFICO 14. Porcentagem de AG polinsaturado em 100g de leite, em 100g de gordura e em valores absolutos (kg/d).

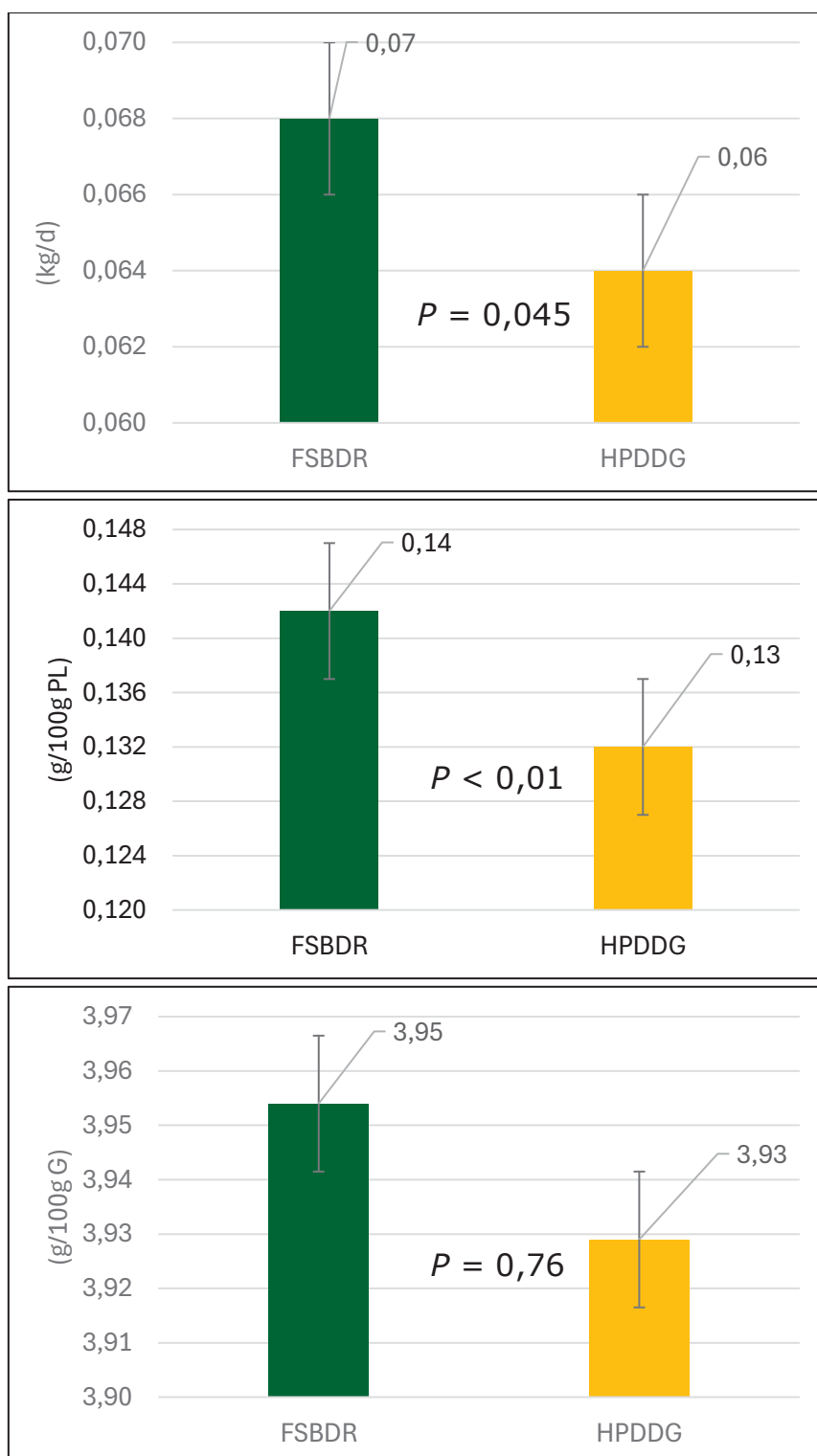


GRÁFICO 15. Porcentagem de AG insaturados em 100g de leite, em 100g de gordura e em valores absolutos (kg/d).

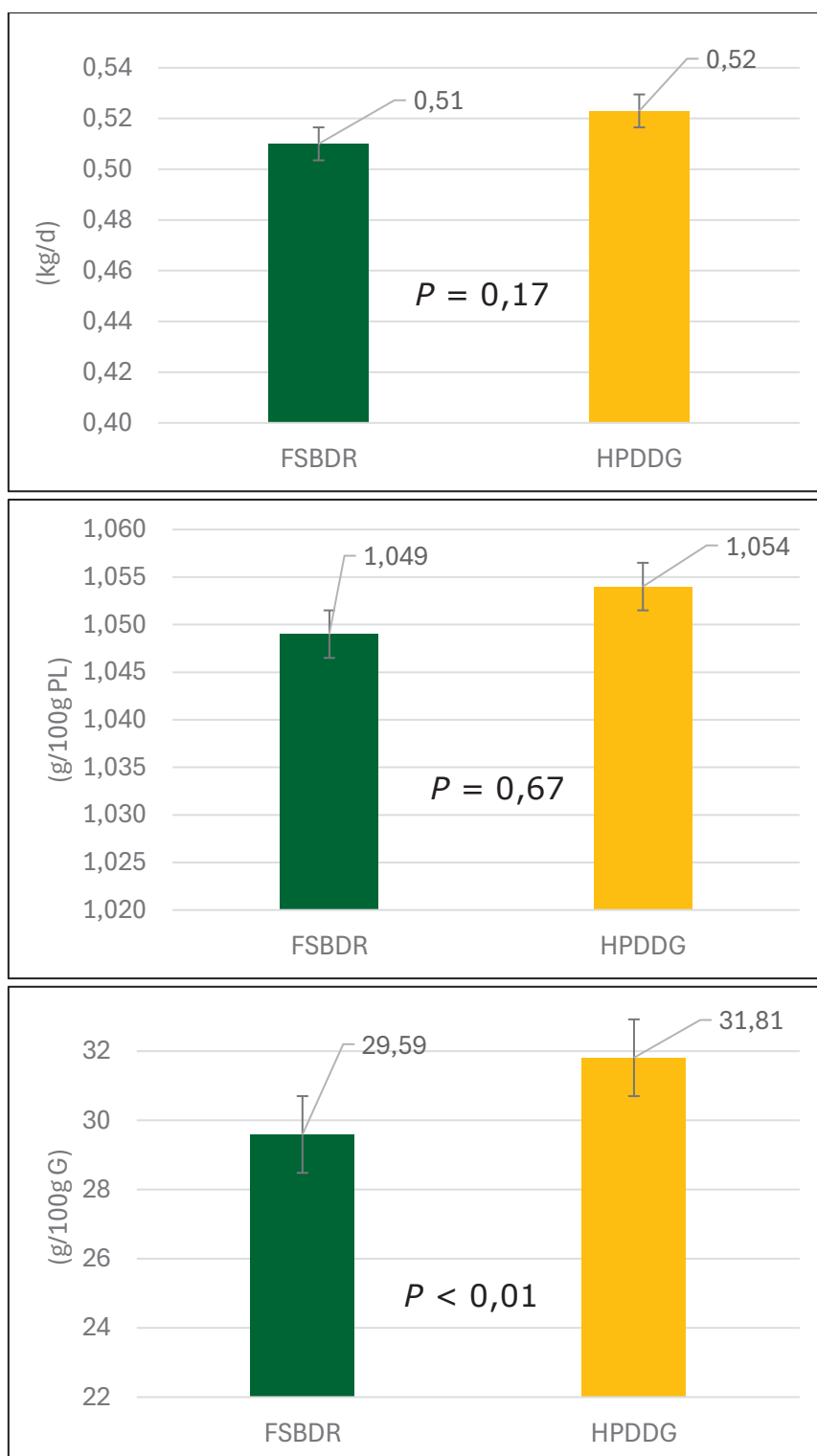


GRÁFICO 16. Porcentagem de AG de novo em 100g de leite, em 100g de gordura e em valores absolutos (kg/d).

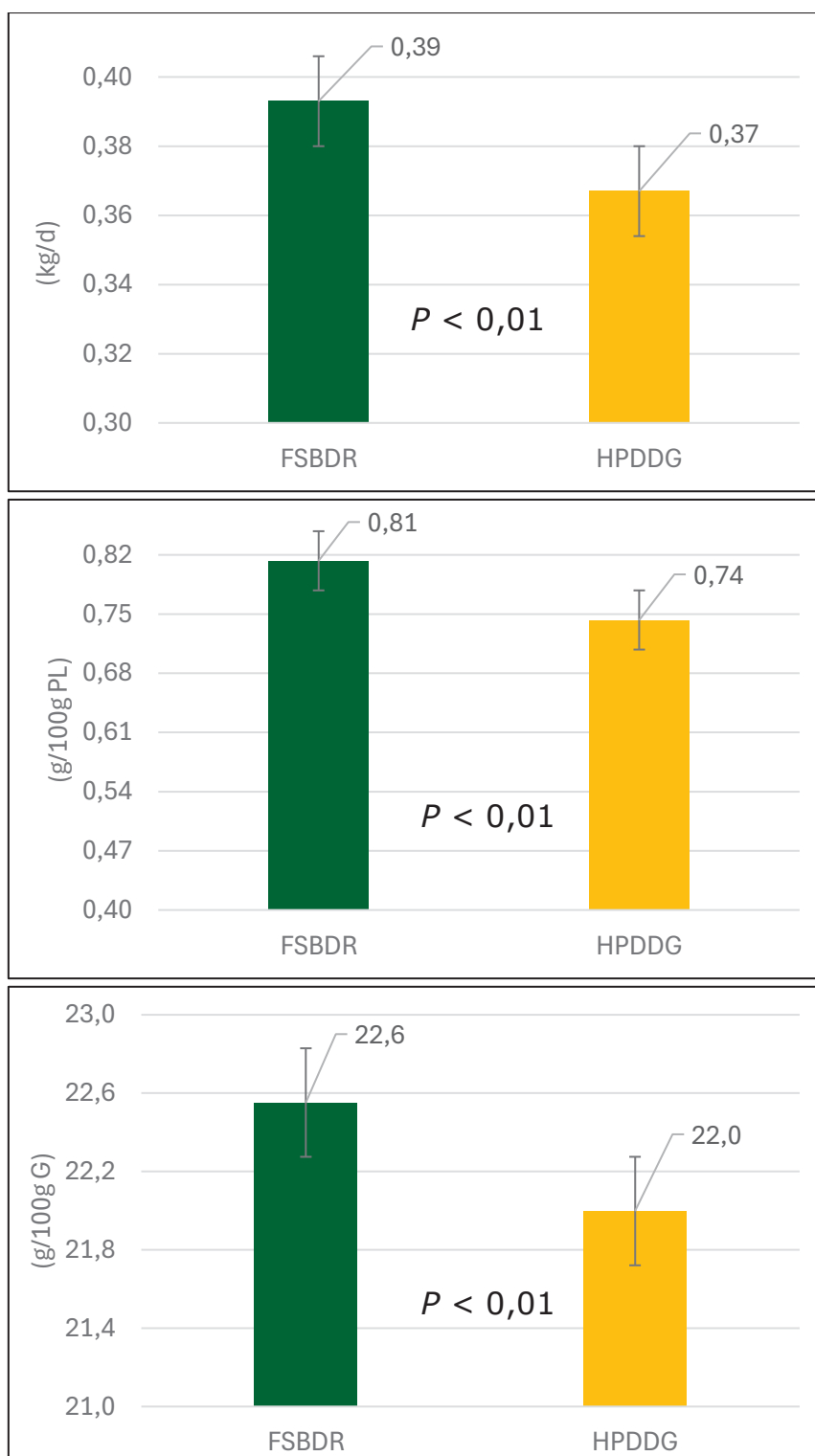


GRÁFICO 17. Porcentagem de AG misto em 100g de leite, em 100g de gordura e em valores absolutos (kg/d).

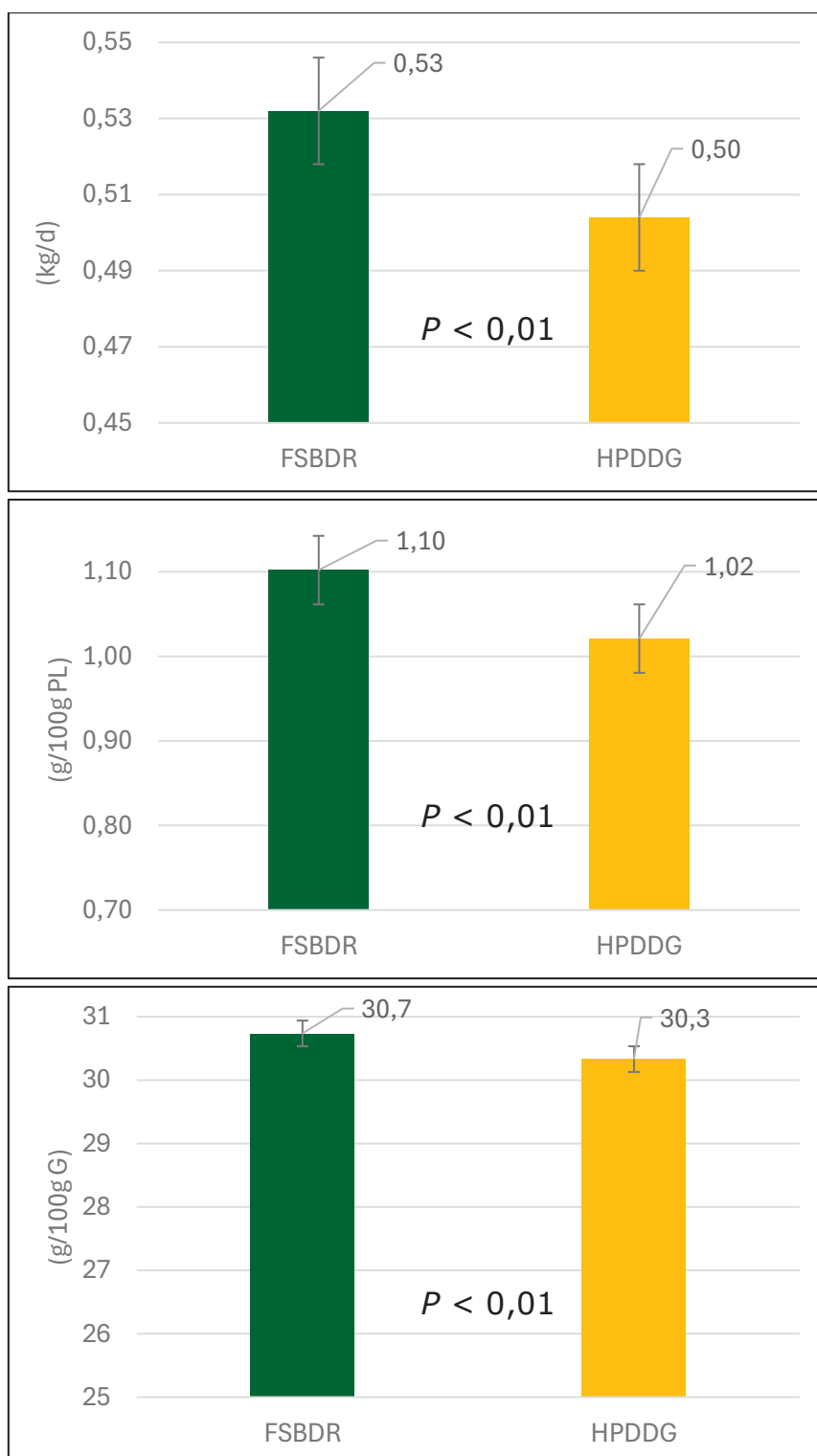


GRÁFICO 18. Porcentagem de AG pré-formados em 100g de leite, em 100g de gordura e em valores absolutos (kg/d).

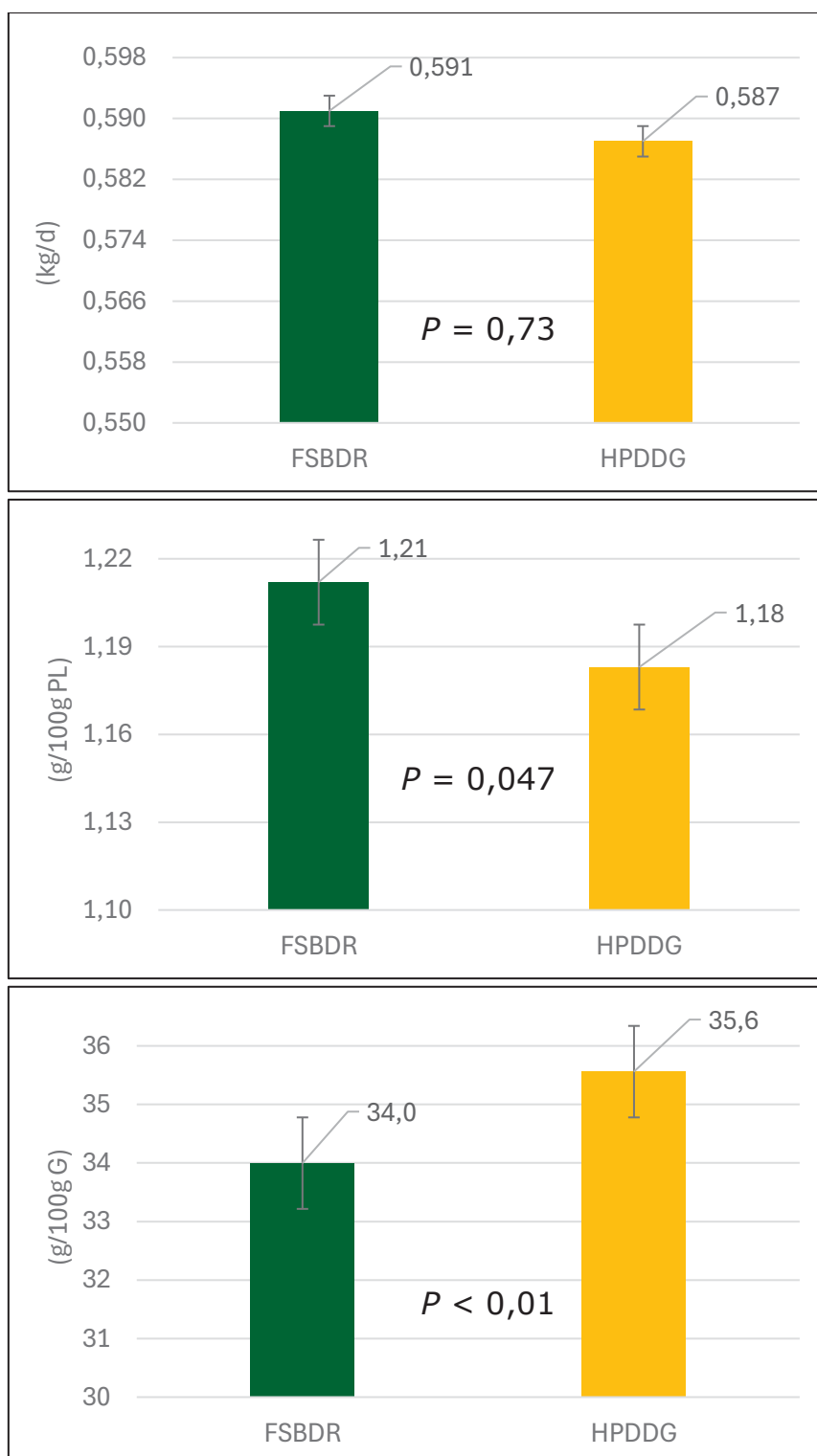


GRÁFICO 19. Porcentagem de AG palmítico em 100g de leite, em 100g de gordura e em valores absolutos (kg/d).

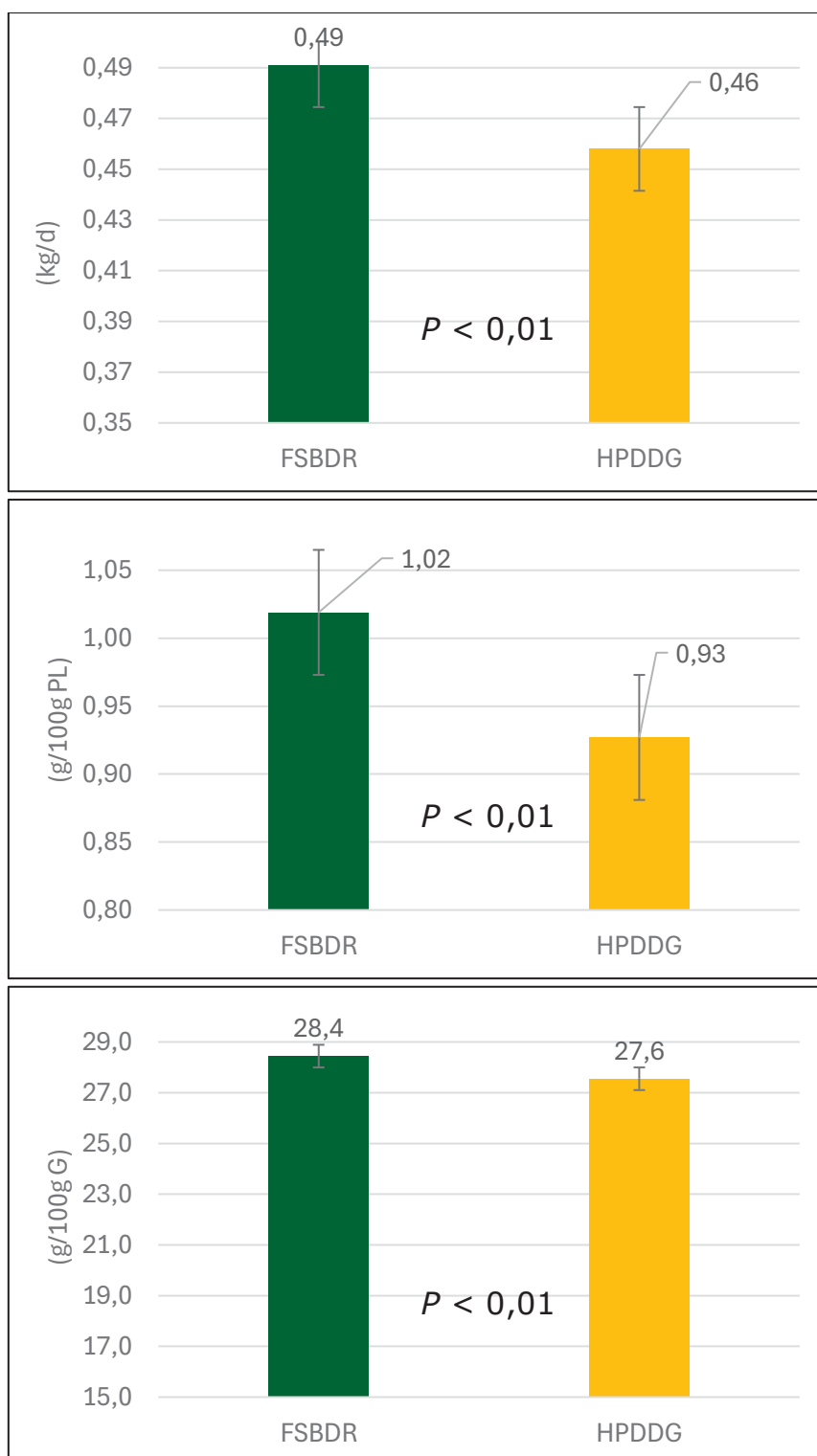


GRÁFICO 20. Porcentagem de AG estearico em 100g de leite, em 100g de gordura e em valores absolutos (kg/d).

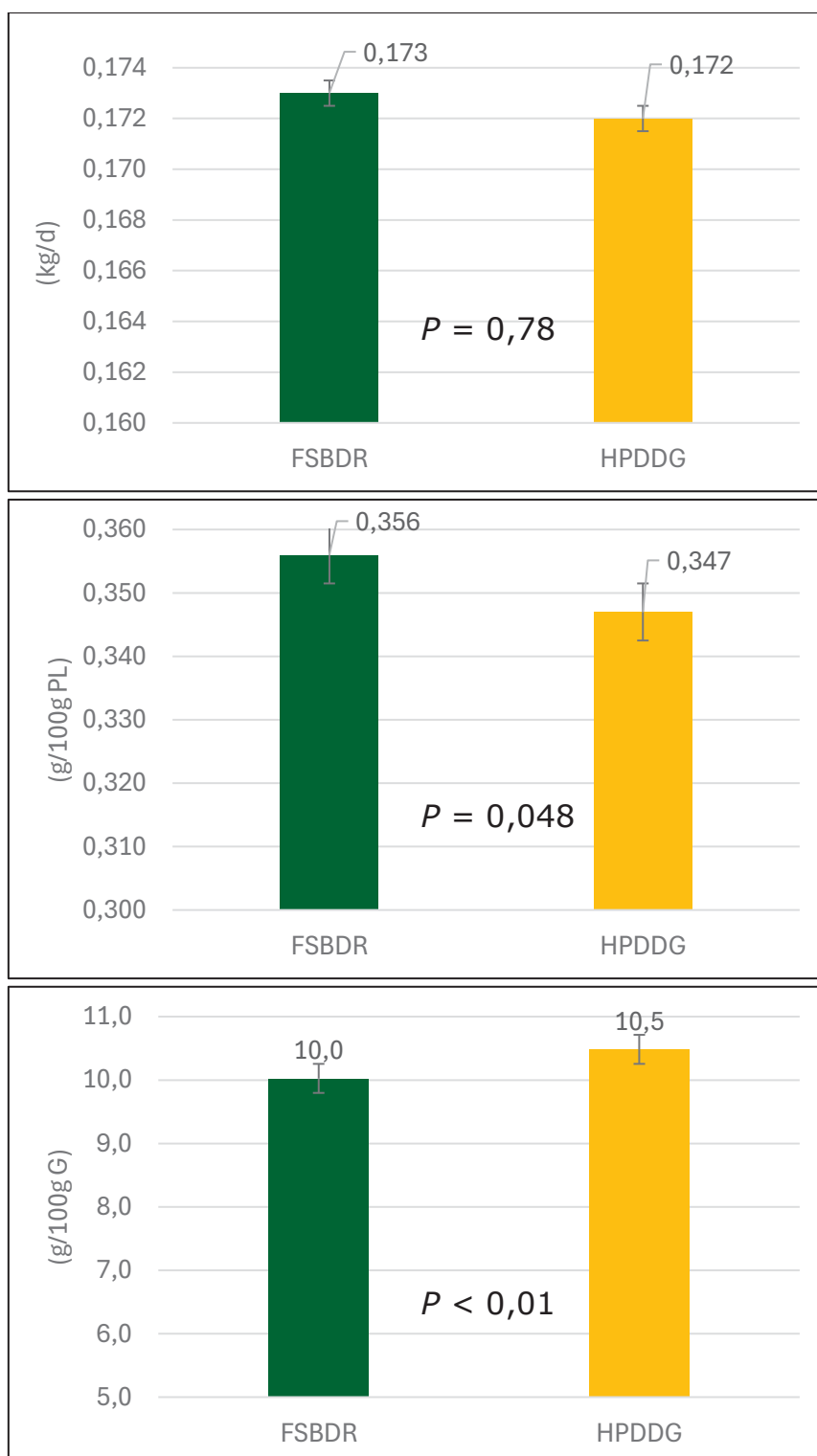
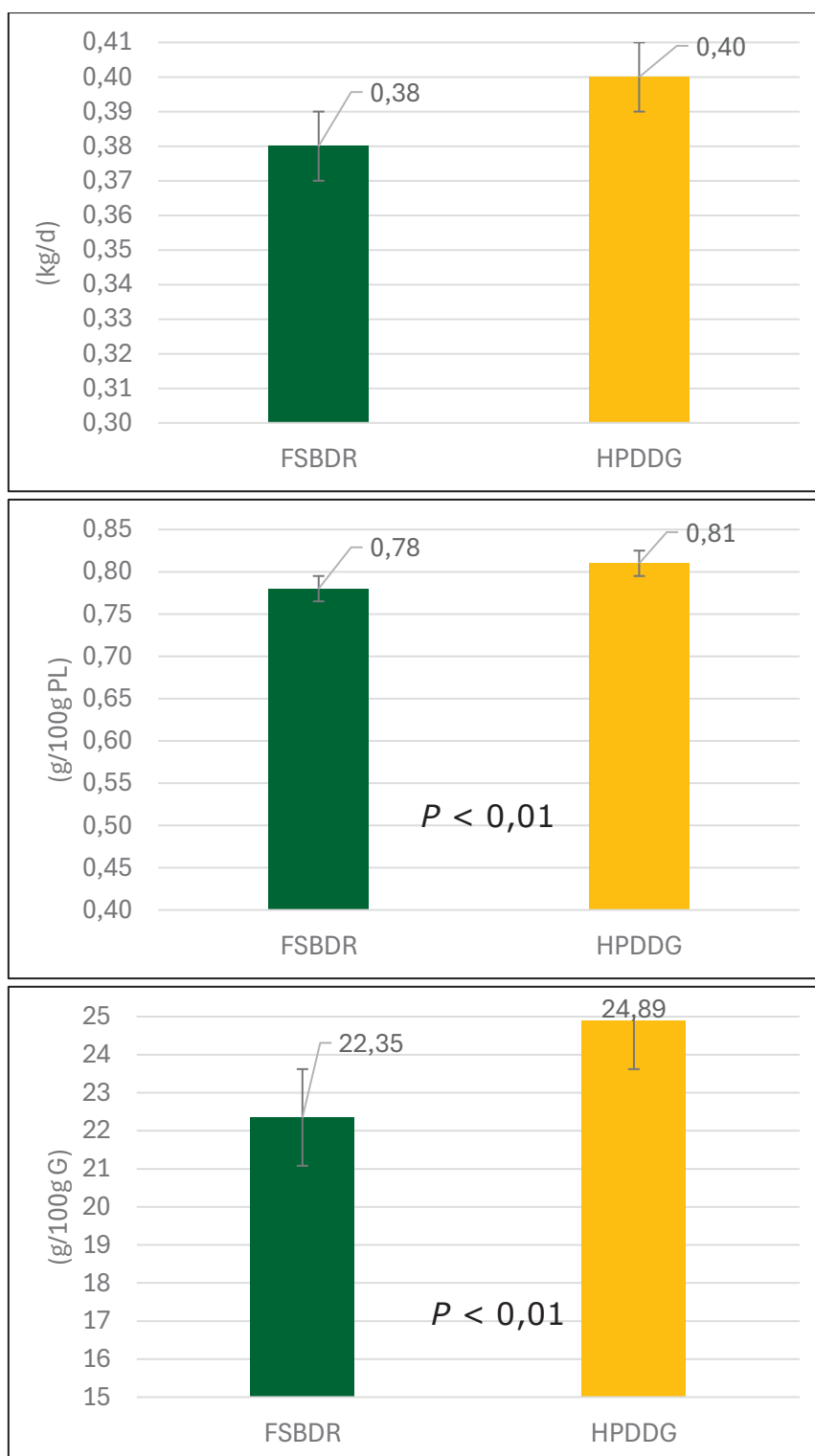


GRÁFICO 21. Porcentagem de AG oleico em 100g de leite, em 100g de gordura e em valores absolutos (kg/d).



Não houve diferenças ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos FSBDR e HPDDG na produção e teor de AG monoinsaturados (GRÁFICO 13), teor de AG polinsaturados

(GRÁFICO 14), produção de AG insaturado (GRÁFICO 15), produção do AG estearico (GRÁFICO 20) e produção de AG pré-formados (GRÁFICO 18).

TABELA 6. Perfil de ácidos graxos da gordura do leite de vacas leiteiras dos tratamentos HPDDG e FSBDR.

| Variável                        | FSBDR <sup>2</sup> | HPDDG <sup>3</sup> | EPM <sup>1</sup> | Valor <i>P</i> |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|------------------|----------------|
| <b>g/100 g de leite</b>         |                    |                    |                  |                |
| Pré-formados <sup>4</sup>       | 1,21               | 1,18               | 0,011            | 0,047          |
| Mistos <sup>5</sup>             | 1,10               | 1,02               | 0,011            | <0,01          |
| De novo <sup>6</sup>            | 0,81               | 0,74               | 0,01             | <0,01          |
| Monoinsaturados                 | 0,92               | 0,93               | 0,008            | 0,428          |
| Polinsaturados                  | 0,14               | 0,13               | 0,002            | <0,01          |
| Saturados                       | 2,13               | 1,96               | 0,023            | <0,01          |
| Insaturados                     | 1,05               | 1,05               | 0,009            | 0,673          |
| Palmítico                       | 1,02               | 0,93               | 0,011            | <0,01          |
| Esteárico                       | 0,36               | 0,35               | 0,003            | 0,048          |
| Oleico                          | 0,78               | 0,81               | 0,007            | <0,01          |
| <b>kg/d</b>                     |                    |                    |                  |                |
| Pré-formados <sup>4</sup>       | 0,59               | 0,59               | 0,008            | 0,73           |
| Mistos <sup>5</sup>             | 0,53               | 0,50               | 0,007            | <0,01          |
| De novo <sup>6</sup>            | 0,39               | 0,37               | 0,006            | <0,01          |
| Monoinsaturados                 | 0,45               | 0,46               | 0,006            | 0,145          |
| Polinsaturados                  | 0,07               | 0,06               | 0,001            | 0,045          |
| Saturados                       | 1,03               | 0,97               | 0,014            | <0,01          |
| Insaturados                     | 0,51               | 0,52               | 0,007            | 0,166          |
| Palmítico                       | 0,49               | 0,46               | 0,006            | <0,01          |
| Esteárico                       | 0,17               | 0,17               | 0,002            | 0,779          |
| Oleico                          | 0,38               | 0,40               | 0,005            | 0,004          |
| <b>g/100 g de ácidos graxos</b> |                    |                    |                  |                |
| Pré-formados <sup>4</sup>       | 34,0               | 35,56              | 0,151            | <0,01          |
| Mistos <sup>5</sup>             | 30,74              | 30,33              | 0,056            | <0,01          |
| De novo <sup>6</sup>            | 22,55              | 22,00              | 0,076            | <0,01          |
| Monoinsaturados                 | 25,88              | 27,95              | 0,171            | <0,01          |

|                |       |       |       |       |
|----------------|-------|-------|-------|-------|
| Polinsaturados | 3,95  | 3,93  | 0,058 | 0,761 |
| Saturados      | 59,42 | 58,15 | 0,133 | <0,01 |
| Insaturados    | 29,59 | 31,81 | 0,19  | <0,01 |
| Palmítico      | 28,44 | 27,55 | 0,096 | <0,01 |
| Esteárico      | 10,03 | 10,48 | 0,069 | <0,01 |
| Oleico         | 22,35 | 24,89 | 0,209 | <0,01 |

<sup>1</sup> Erro padrão médio; <sup>2</sup> FSBDR: farelo de soja de baixa degradabilidade ruminal; <sup>3</sup> HPDDG: grãos secos de destilaria de alta proteína; <sup>4</sup> Pré-formados = Ácidos graxos  $\geq 18$  C; <sup>5</sup> Mistos = Ácidos graxos de 16 ou 17 C; <sup>6</sup> De novo = Ácidos graxos de 4 a 15 C.

### 2.3.3 Metabólitos sanguíneos

Os resultados da análise dos metabólitos sanguíneos estão descritos na TABELA 7. Não houve diferença entre os tratamentos FSBDR e HPDDG nos metabólitos ureia, glicose, proteína, albumina e globulina. O colesterol foi o único metabólito que apresentou diferença significativa, com maior ( $P < 0,05$ ) concentração para o grupo HPDDG em comparação ao grupo FSBDR.

TABELA 7. Efeito na concentração de metabólitos sanguíneos das vacas dos tratamentos FSBDR e HPDDG.

| Variável             | FSBDR <sup>2</sup> | HPDDG <sup>3</sup> | EPM <sup>1</sup> | Valor <i>P</i> |
|----------------------|--------------------|--------------------|------------------|----------------|
| Ureia, mg/dL         | 36,38              | 38,08              | 0,526            | 0,11           |
| Colesterol, mg/dL    | 204,9              | 213,9              | 2,223            | 0,04           |
| Glicose, mg/dL       | 54,55              | 56,94              | 0,763            | 0,13           |
| Proteína total, g/dL | 8,22               | 8,24               | 0,03             | 0,77           |
| Albumina, g/dL       | 3,69               | 3,74               | 0,02             | 0,09           |
| Globulina, g/dL      | 4,53               | 4,53               | 0,03             | 0,98           |

<sup>1</sup> Erro padrão médio; <sup>2</sup> FSBDR: farelo de soja de baixa degradabilidade ruminal; <sup>3</sup> HPDDG: grãos secos de destilaria de alta proteína

### 2.3.4 Peso corporal

O peso corporal inicial das vacas foi semelhante entre os grupos experimentais, sendo de 679,3 kg para o grupo FSBDR e 675,3 kg para o grupo HPDDG ( $P=0,12$ ). Ao final do período experimental, o peso corporal foi de 669,2 kg e 672,6 kg para os grupos FSBDR e HPDDG, respectivamente ( $P=0,11$ ). A mudança no peso corporal, calculada como a diferença entre o peso final e o peso inicial, foi de -10,1 kg para as vacas do grupo FSBDR e de -2,7 kg para as vacas do grupo HPDDG, com tendência ( $P=0,07$ ) de menor perda de peso para as vacas alimentadas com HPDDG.

## 2.4 DISCUSSÃO

Nossa hipótese inicial era que ambos os tratamentos teriam similar produção de leite e de sólidos, mas animais tratados com HPDDG teriam um menor custo alimentar, devido ao similar aporte de PNDR e menor custo do HPDDG em comparação ao FSBDR. De fato, a produção de leite semanal foi similar entre os tratamentos. A produtividade começou a diferenciar entre os grupos com o avançar das semanas, sugerindo que os animais precisam de no mínimo três semanas de adaptação para que os efeitos das dietas sejam observados. Assim, com base nos dados do nosso experimento 3 semanas foram importantes para que essa adaptação fosse completa, corroborando com estudos que indicam que se requer um período mínimo de aproximadamente três semanas para as vacas leiteiras se adaptarem fisiologicamente às mudanças dietéticas (MACHADO et al., 2016), especialmente as papilas (PARRA, 2011).

Em contrapartida, nos últimos três dias experimentais a produção de leite foi superior para o grupo HPDDG. Tal diferença pode ser atribuída a dois fatores principais: maior valor energético da dieta HPDDG por conta do maior teor lipídico e a diferenças no perfil de aminoácidos entre os tratamentos.

Estudos relataram aumento na produção de leite em decorrência da substituição parcial do farelo de soja por coprodutos do etanol de milho, efeito atribuído ao maior fornecimento de PNDR, característico do perfil proteico do DDG

(ANDERSON et al., 2006; NICHOLS et al., 1998). Embora o HPDDG apresente teor de PNDR superior ao do farelo de soja convencional, o presente estudo utilizou farelo de soja *by-pass*, o qual, assim como os coprodutos de milho, também apresenta alta concentração de PNDR. Além disso as dietas foram formuladas para serem isoproteicas para PB, o que limita a hipótese de que o aumento na produção de leite observado no grupo HPDDG seja decorrente de diferenças no suprimento de PNDR.

Hubbard et al. (2009) observaram aumento na produção de leite quando 20% da MS de uma porção da forragem e toda a proteína à base de soja foram substituídas por HPDDG na dieta, em comparação ao grupo controle (33,4 vs. 31,6 kg/d). Esse efeito foi atribuído, ao maior teor de gordura da dieta contendo HPDDG (5,7% vs. 3,2%), o que resultou em maior densidade energética na dieta. No milho, a principal fonte de energia é o amido, o qual é praticamente removido durante o processo de produção do DDG. Dessa forma, a energia presente no coproduto é proveniente, predominantemente, da gordura e do FDN (KIEYB et al., 2017). De forma semelhante, Kleinschmit et al. (2006) relataram aumento na produção de leite (34,6 vs. 31,2 kg/d) ao substituir um terço do milho por três diferentes DDGS, promovendo elevação do teor de gordura da dieta e, conseqüentemente, da densidade energética (1,92% vs. 6,02%, 8,40% ou 7,21% EE). De maneira consistente com esses achados, no presente estudo, a maior produtividade observada nos animais alimentados com HPDDG pode ser explicada principalmente pelo maior aporte energético da dieta, decorrente do aumento no teor de gordura (5,48% vs. 4,74% EE).

A dieta do grupo HPDDG também parece ter melhor balanço de aminoácidos, em comparação ao grupo FSBDR, favorecendo a produção de leite, especialmente se tratando da inclusão de lisina e metionina que passou de 6,28%PM e 1,73%PM para 6,14 %PM e 1,85%PM, respectivamente. Ao aumentar esta relação lisina:metionina, a dieta tornou-se menos deficiente em metionina, reduzindo o tamanho da suplementação necessária deste aminoácido na dieta de vacas leiteiras, além de baratear o custo ao produtor, sustentando o desempenho produtivo do animal. É bem relatado na literatura o impacto da metionina sobre o desempenho de vacas leiteiras de alta produção (RICHARDSON; HATFIELD, 1978), considerada um aminoácido deficiente que, quando suplementada, promove aumentos na produção de leite e de proteína do leite (SCHWAB et al., 1992; DOEPEL; LAPIERRE, 2010; CHIOGNA et al., 2021), ao aumentar a concentração de AAE melhorando a utilização de AA pela glândula mamária (MJOUN et al., 2010).

Apesar do melhor perfil aminoacídico da dieta HPDDG, o teor e a produção tanto de proteína do leite quanto de caseína não diferiram entre os tratamentos, o que corrobora com diversos estudos em que a alimentação com DDGS não teve efeito na porcentagem da proteína do leite (ANDERSON et al., 2006; KLEINSCHMIT et al., 2007; SCHINGOETHE et al., 2009). Embora o DDG seja considerado um ingrediente com elevado teor de proteína bruta, a dieta ainda é deficiente em metionina. Além disso, ao incluir um coproduto de milho na dieta, substituindo uma fonte de soja, o aporte de lisina foi diminuído, o que pode ter limitado a resposta em proteína do leite. Ao incluir tanto 10%MS quanto 20%MS de DDGS na dieta de vacas leiteiras, a porcentagem de proteína no leite não diferiu do grupo controle (3,01 e 3,02 vs. 3,05, respectivamente)(ANDERSON et al., 2006). Além disso, uma meta-análise demonstrou que não há correlação entre o teor de PB da dieta e o percentual ou a produção diária de proteína no leite. Dessa forma, um maior fornecimento de PB na dieta não implica, necessariamente, em melhoria na síntese ou secreção de proteína no leite (ZHAO et al., 2025). Schingoethe et al. (2009) sugeriram que a concentração de proteína no leite tende a permanecer estável, exceto quando a proteína da dieta esteja sendo limitante.

Yoder et al. (2020) encontraram que a suplementação de leucina aumentou de forma independente e aditiva a produção de leite em vacas leiteiras de alta produção, demonstrando que leucina alta na dieta tende a subir o leite. De fato, no presente estudo a concentração de leucina na dieta do grupo HPDDG é consideravelmente maior do que na dieta do grupo FSBDR (9,35 vs. 8,62%PM), podendo ser um fator adicional que justificaria a maior produção de leite do grupo HPDDG. A leucina é um dos AAE que regulam a síntese de proteínas nas células, ativando a via mTOR, responsável por regular o crescimento celular e a produção de proteínas, e tem sido considerada o mais potente AAE ativador da via mTORC1 (complexo 1 da proteína-alvo da rapamicina), que ao se ligar à proteína Sestrin2 interrompe a interação desta com o complexo proteico GATOR2, ativando, portanto, a via mTORC1, aumentando a síntese de proteínas (SAXTON et al., 2016).

Com relação à composição do leite, as vacas do grupo FSBDR apresentaram maior produção de gordura, tanto em termos relativos (g/100 g de leite) quanto em valores absolutos (kg/d), assim como, maior teor de sólidos totais. A análise do perfil de AG da dieta fornecida ao grupo HPDDG revelou alta concentração de ácido linoleico (C18:2), representando 52,9% do total de ácidos graxos da dieta, o que

corresponde a uma ingestão diária aproximada de 674 g de C18:2 por vaca. A inclusão de maiores proporções de DDG na dieta levanta preocupações quanto ao potencial de induzir uma depressão da gordura do leite (BAUMAN et al., 2001). Estudos relataram que a inclusão de DDGS em dietas de vacas leiteiras pode induzir à depressão da gordura do leite, associando esse efeito ao elevado teor de ácidos graxos polinsaturados presentes nesses coprodutos e, consequentemente, na dieta total (MUTSVANGWA et al., 2016), assim como ocorre com o HPDDG.

A inclusão de níveis elevados de DDGS, conforme descrito pelo NRC (2001), acima de 20% da matéria seca da dieta, impactou negativamente o desempenho produtivo das vacas (RAMIREZ-RAMIREZ et al., 2016; MORRIS et al., 2018; ZYNDA et al., 2022). Esse efeito é atribuído ao aumento no fornecimento de ácidos graxos polinsaturados, o que potencialmente compromete a síntese de gordura do leite (MORRIS et al., 2018). Esses ácidos graxos polinsaturados são potencialmente tóxicos para a microbiota ruminal (MAIA et al., 2007), desencadeando uma biohidrogenação parcial e a síntese de isômeros do ácido linoleico conjugado (CLA) (CHOUINARD et al., 1999), especialmente de CLA trans-10, cis-12, um potente inibidor de síntese de gordura no leite, uma vez que suprime a expressão de genes relacionados à lipogênese e inibe enzimas-chave como a acetil-CoA carboxilase (ACC) e a ácido graxo sintase (FAS), ambas envolvidas na síntese de ácidos graxos de novo (cadeia curta e média) na glândula mamária, fração que representa uma porção significativa da gordura do leite (HARVATINE; BOISCLAIR; BAUMAN, 2018; MORRIS et al., 2018).

Esses achados corroboram com os resultados do presente estudo, no qual a produção de AG saturados, especialmente AG de novo e AG mistos foi superior no grupo FSBDR em relação ao HPDDG, tanto em valores absolutos (kg/d), quanto em concentração no leite (g/100 g de leite) e na proporção na gordura total (g/100 g de AG). Por outro lado, o grupo HPDDG teve maior produção (g/100 g leite, g/100g AG e kg/d) de AG pré-formado, provenientes da dieta e AG oleico (C18:1). A substituição de 30% na MS da dieta do farelo de soja por DDGS tendeu a reduzir em 17% a produção de gordura, efeito atribuído à elevada inclusão do coproduto com alto teor de AG polinsaturado, diminuindo AG de novo (32,1 vs. 30,0) e AG misto (34,5 vs 25,6), aumentando o AG pré-formado (31,9 vs 42,0) (CLARK et al., 2024).

Embora o produto avaliado neste estudo (HPDDG) apresente diferenças em relação ao DDGS convencional amplamente descrito na literatura, ambos

compartilham perfil semelhante de ácidos graxos. Dessa forma, é esperado que o HPDDG tenha sido um dos principais responsáveis pela depressão do teor de gordura do leite observada. Uma das principais distinções entre os dois produtos é o maior teor de extrato etéreo no HPDDG em relação ao FSBDR (12-14% vs. 1-2%), o que pode explicar por que, mesmo com uma inclusão relativamente modesta (aproximadamente 6% da MS), já foram observados efeitos sobre a composição lipídica do leite.

No estudo de Hubbard et al. (2009), embora tenha sido utilizado HPDDG com níveis de PB e FDN similares, o teor de EE era consideravelmente menor, de 4,63%; já o HPDDG utilizado em nosso estudo apresentou 13,4%EE. Nesse caso, a inclusão de 20% da MS de HPDDG na dieta, resultou em aumento significativo tanto na produção de leite como no teor de gordura do leite. O mesmo ocorreu no estudo de Swanepoel et al. (2014), conforme aumentava-se o nível de inclusão do HPDDG com baixa gordura, aumentou também a produção de leite, sem afetar o teor de gordura. Ao incluir cerca de 30% de DDGS com baixo teor de gordura, a produção de leite tendeu a aumentar 1,1 kg/d em relação ao grupo controle, enquanto a porcentagem de gordura não diferiu entre os tratamentos (FOTH et al., 2015). Em outro estudo avaliando DDGS, DDG de alta proteína e baixa gordura e farelo de soja na dieta de vacas leiteiras, observou-se depressão na gordura do leite somente das vacas alimentadas com DDGS (grupo controle e DDG de alta proteína 4,21%G vs. DDGS 3,78%G) (CHRISTEN et al., 2010). Esses resultados sugerem que a redução no teor de extrato etéreo do HPDDG pode ser uma estratégia viável para mitigar os efeitos negativos sobre a gordura do leite, diminuindo o teor de ácido linoleico presente na dieta. Por outro lado, o incremento em produção de leite das vacas tratadas com HPDDG também ocorreu por conta da maior concentração energética da dieta, explicada exatamente pelo alto valor de %EE do produto. Ou seja, talvez reduzir alguns poucos pontos percentuais da gordura do produto seja favorável para diminuir o risco de depressão da gordura do leite, mas uma redução em excesso talvez limite a resposta em produção de leite. Portanto, ainda são necessários mais estudos visando testar diferentes níveis de inclusão de HPDDG, para a obtenção destas respostas.

Estudos mostram que a maior produção de leite está ligado ao maior consumo de matéria seca em dietas contendo DDG (FOTH et al., 2015; TESTROET et al., 2018; CHESINI et al., 2023). Ao incluir diferentes concentrações de DDGS na dieta, de 10

a 30%MS, observou-se aumento de 2,5 a 4,0 kg/d na produção de leite e no CMS em relação ao grupo controle (BENCHAAAR et al., 2013). Castillo-Lopez et al. (2014) também relatou aumento no CMS ao incluir DDGS com teor de gordura reduzido, apesar de não ter identificado diferenças na produção de leite entre o grupo controle. Resultados similares foram observados no estudo de Ramirez-Ramirez et al. (2016) que testaram DDGS com teor reduzido de gordura. Apesar de ter observado somente uma tendência para produção de leite 1,7 kg/d superior para vacas que receberam dieta contendo qualquer tipo de DDG, em comparação ao grupo controle, observou maior CMS para estes grupos. Em contrapartida, outros estudos relataram que ao incluir DDGS na dieta não houve efeito sobre o CMS e produção de leite (MAXIN et al., 2013; LIMA et al., 2013; CASTILLO-LOPEZ et al., 2014; FOTH et al., 2015).

Apesar da não diferença do peso inicial e peso final das vacas do grupo HPDDG em comparação o grupo FSBDR, esses animais tenderam a ter menor mudança em peso. Esse resultado sugere que, embora a produção de leite tenha sido superior nesse grupo, o leite apresentou menor concentração de gordura e exportação de proteína, o que resultou em menor exigência de energia líquida para lactação ( $-0,02$  Mcal/kg de leite) e menor perda de peso.

A produção de leite corrigida para energia foi semelhante entre os tratamentos, provavelmente um comportamento de compensação, onde o grupo HPDDG produziu maior volume de leite e o grupo FSBDR produziu mais gordura. A porcentagem e produção de lactose não diferiram entre os tratamentos, resultado que era esperado, visto que os principais componentes do leite que sofrem maiores variações em resposta à dieta são gordura e proteína, enquanto a lactose é mais influenciada por fatores ambientais e pelo estado de saúde da glândula mamária (NASEM, 2021). A CCS observada foi inferior a 200.000 células/mL, valor que indica adequada saúde da glândula mamária, embora o limite máximo permitido pela Instrução Normativa 76, de 2018, do Ministério da Agricultura e Pecuária, seja de 500.000 células/mL. Valores elevados de CCS estão associados à maior prevalência de doenças como mastite e resultam em menor produção de leite e de sólidos do leite (SCHWARZ et al., 2010). A ausência na diferença entre os tratamentos pode ser explicada por esse bom status de CCS, uma vez que a concentração de lactose apresenta correlação negativa com a CCS, ou seja, o aumento da CCS está relacionado à redução da lactose no leite (SAFAK, 2022; CASTRO, 2024).

A concentração de NUL foi em média, 2,0 mg/dL menor no grupo HPDDG em comparação ao grupo FSBDR. Diversos fatores parecem influenciar o NUL, sendo os principais o teor de PB e a concentração energética da dieta (RIUS et al., 2010). Dietas com alta PB ou baixa energia na dieta tendem a elevar o NUL (OLTNER; WIKTORSSON, 1983; KIRCHGESSNER et al., 1986) NOUSIAINEN et al., 2004; BARROS et al., 2017). Isto ocorre porque a proteína em excesso ou energia restrita impede que os microrganismos ruminais capturem o excesso de amônia de forma efetiva, elevando a excreção de nitrogênio (ZHAO et al., 2024). Cabe destacar que a eficiência de utilização de N em vacas leiteiras é limitada, utilizando-se menos de um terço do N ingerido. A maior parte do N consumido é excretado pelas fezes e urina (70%; BARROS et al., 2017; ZHAO et al., 2024), e 30% secretado via leite (CASTILLO et al., 2000; GROENESTEIN et al., 2019). Assim o NUL tem sido utilizado como um bom indicador de eficiência na utilização de N (ZHAO et al., 2024).

Em geral, valores considerados adequados de NUL devem se concentrar entre 10 a 14 mg/dL. Valores excedentes indicam a necessidade de ajustes na dieta, como o aumento de carboidratos rapidamente fermentáveis ou redução de PB ou da PDR (ZHAO et al., 2024), visando otimizar a eficiência de utilização do N da dieta. No presente estudo, apesar das dietas terem sido formuladas para serem isoproteicas, o grupo FSBDR apresentou valores de NUL próximos ao limite superior da faixa recomendada, o que indica diferenças na composição da dieta efetivamente consumida, possivelmente com maior teor de PB neste grupo, ou que o grupo HPDDG utilizou de forma mais eficiente o N da dieta. Contudo esta foi uma limitação do nosso estudo, pois não foi avaliada a eficiência de utilização de N através da mensuração via fezes e/ou urina.

## 2.5 CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo indicam que a inclusão de HPDDG como alternativa ao farelo de soja protegido na dieta de vacas leiteiras promoveu aumento na produção de leite, possivelmente em função do maior teor energético, decorrente do elevado conteúdo de óleo, e do perfil de aminoácidos mais equilibrado, com destaque para metionina e leucina. No entanto, as vacas alimentadas com HPDDG apresentaram menor teor e produção de gordura no leite. Apesar disso, as produções

de leite corrigidas para gordura e para energia foram semelhantes entre os tratamentos. Esses achados sugerem que a resposta produtiva ao HPDDG é sensível ao seu nível de inclusão, efeito associado ao alto teor de ácido linoleico presente no produto. Tal contexto reforça a necessidade de se estabelecer um limite máximo de inclusão, adaptado às condições dos sistemas de produção brasileiros, considerando o sistema de pagamento do leite adotado (com ou sem bonificação por qualidade) e outros fatores de risco na dieta para a depressão da gordura do leite.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, J. O., C. ZHUO, Y. A. LEVENDIS, J. A. S. TENÓRIO. **Síntese de nanomateriais de carbono a partir do resíduo de milho (DDGS)**. Química Nova, v. 35, p. 1534-1537, 2012.
- ANDERSON, J. L.; SCHINGOETHE, D. J.; KALSCHEUR, K. F.; HIPPEN, A. R. **Evaluation of dried and wet distillers grains included at two concentrations in the diets of lactating dairy cows**. J. Dairy Sci., v. 89, p. 3133–3142, 2006.
- ARANTES, S. M. **Análise socioeconômica e de uso da terra da produção de etanol de milho segunda safra, no centro-oeste brasileiro**. 2023. Dissertação (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2023.
- ARSHAD, U., F. PEÑAGARICANO, H. M. WHITE. **Effects of feeding rumen-protected lysine during the postpartum period on performance and amino acid profile in dairy cows: A meta-analysis**. J. Dairy Sci., v. 107, p. 4537–4557, 2024.
- BARROS, T.; QUAASSDORFF, M. A.; AGUERRE, M. J.; COLMENERO, J. J. O.; BERTICS, S. J.; CRUMP, P. M.; WATTIAUX, M. A. **Effects of dietary crude protein concentration on late-lactation dairy cow performance and indicators of nitrogen utilization**. J. Dairy Sci., v. 100, p. 5434–5448, 2017.
- BAUMAN, D. E., J. M. GRIINARI. Regulation and nutritional manipulation of milk fat: low-fat milk syndrome. Livest. Prod. Sci., v. 70, p. 15–29, 2001.
- BENCHAAR, C., HASSANAT, F., GERVAIS, R., CHOUINARD, P. Y., JULIEN, C., PETIT, H. V., MASSÉ, D. I. **Effects of increasing amounts of corn dried distillers grains with solubles in dairy cow diets on methane production, ruminal fermentation, digestion, N balance, and milk production**. J. Dairy Sci., v. 96, p. 2413-2427, 2013.

BRAUNGARDT, T. J.; SHIKE, D. W.; PAS, D. B. F.; KARGES, K.; GIBSON, M.; POST, N. M. **Comparison of corn coproducts and corn residue bales with alfalfa mixed hay on beef cow-calf performance, lactation, and feed costs.** Professional Animal Scientist, v. 26, p. 356–364, 2010.

BRODERICK, Glen A.; CLAYTON, Murray K. **A statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentrations of milk urea nitrogen.** J. Dairy Sci., v. 80, p. 2964–2971, 1997.

BUOSI, J. P., P. H. M. DIAN. **Grãos secos de destilaria com solúveis (DDGS) na alimentação de ruminantes.** Boletim Técnico da Universidade Camilo Castelo Branco, Departamento de Produção Animal, 11. Descalvado, 2014.

CHESINI, R. G.; TAKIYA, C. S.; DIAS, M. S. S.; SILVA, T. B. P.; NUNES, A. T.; GRIGOLETTO, N. T. S.; DA SILVA, G. G.; VITTORAZZI JR., P. C.; RENNÓ, L. N.; RENNÓ, F. P. **Dietary replacement of soybean meal with heat-treated soybean meal or high-protein corn distillers grains on nutrient digestibility and milk composition in mid-lactation cows.** J. Dairy Sci., v. 106, p. 233–244, 2023.

CHIOGNA, V. LOPES, F.; SCHWAB, C. G.; TOLEDO, M. Z.; COLLAO-SAENZ, E. A. **Effects of rumen-protected methionine supplementation on the performance of high production dairy cows in the tropics.** PLoS ONE, v. 16, 2021.

CHOUINARD, P. Y., L. CORNEAU, D. M. BARBANO, L. E. METZGER, AND D. E. BAUMAN. 1999. **Conjugated linoleic acids alter milk fatty acid composition and inhibit milk fat secretion in dairy cows.** J. Nutr., v. 129, p. 1579–1584, 1999.

CHRISTEN, K. A.; SCHINGOETHE, D. J.; KALSCHEUR, K. F.; HIPPEN, A. R.; KARGES, K. K.; GIBSON, M. L. **Response of lactating dairy cows to high protein distillers grains or 3 other protein supplements.** J. Dairy Sci., v. 93, p. 2095–2104, 2010.

CLARK, K. L.; PARK, K.; LEE, C. **Exploring the cause of reduced production responses to feeding corn dried distillers grains in lactating dairy cows.** J. Dairy Sci., v. 107, p. 6717–6731, 2024.

EDMONSON, A. J.; LEAN, I. J.; WEAVER, L. D.; FARVER, T.; WEBSTER, G. **A body condition scoring chart for Holstein dairy cows.** J. Dairy Sci., v. 72, p. 68-78, 1989.

FAS – FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE. **Dairy: World Markets and Trade – Milk, Total.** Washington, D.C.: USDA, 2024. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/0223000>. Acesso em: 8 fev. 2025.

FIORI, R. C.; VASCONCELOS, J. A.; SCHMIDT, C. P. **Efeito da substituição de farelo de soja convencional por farelo de soja protegido da degradação ruminal na dieta de vacas primíparas da raça Holandês — grupo de tratamento comparado ao controle.** Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2024.

FOTH, A. J., BROWN-BRANDL., HANFORD, K. J., MILLER, P. S. GOMEZ, G. G. KONONOFF, P. J. **Energy content of reduced-fat dried distillers grains with solubles for lactating dairy cows.** J. Dairy Sci., v. 98, p. 7142-7152, 2015.

GROENESTEIN, C. M. HUTCHINGS, N.J.; HAENEL, H.D.; AMON, B.; MENZI, H.; MIKKELSEN, M. H.; MISSELBROOK, T. H.; VAN BRUGGEN, C.; KUPPER, T.; WEBB, J. **Comparison of ammonia emissions related to nitrogen use efficiency of livestock production in Europe.** Journal of Cleaner Production, v. 211, p. 1162–1170, 2019.

HARVATINE, KEVIN J.; BOISCLAIR, Y. R.; BAUMAN, DALE E. **Time-dependent effect of trans-10,cis-12 conjugated linoleic acid on gene expression of lipogenic enzymes and regulators in mammary tissue of dairy cows.** J. Dairy Sci., v. 101, p. 7585–7592, 2018.

HUBBARD, K. J.; KONONOFF, P. J.; GEHMAN, A. M.; KELZER, J. M.; KARGES, K.; GIBSON, M. L. **The effect of feeding high-protein distillers dried grains on milk production of Holstein cows.** J. Dairy Sci., v. 92, p. 2911–2914, 2009.

IRAM, A., D. CEKMECELIOGLU, A. DEMIRCI. **Distillers' dried grains with solubles (DDGS) and its potential as fermentation feedstock.** Applied Microbiology and Biotechnology, v. 104, p. 6115-6128, 2020.

KIEŁB, P; ZACHWIEJA, E; MIŚTA, A; ZAWADZKI, D; ZIELAK, S. W. ANNA. **Use of Corn Dried Distillers Grains (DDGS) in Feeding of Ruminants.** 10.5772/66357, 2017.

KLEINSCHMIT, D. H; SCHINGOETHE, D. J.; KALSCHEUR, K. F.; HIPPEN, A. R. **Evaluation of various sources of corn dried distillers grains plus solubles for lactating dairy cattle.** J. Dairy Sci., v. 89, p. 4784–4794, 2006.

LIMA, C. B., F. G. P. COSTA, J. V. LUDKE, D. M. LIMA JÚNIOR, T. M. A. MARIZ, A. A. PEREIRA, G. M. SILVA, A. C. A. ALMEIDA. **Fatores antinutricionais e processamento do grão de soja para alimentação animal.** Agropecuária Científica no Semiárido, v. 10, p. 24-33, 2014.

LOCK, A. L. 2010. **Update on dietary and management effects on milk fat.** Tri-State Dairy Nutr. Conf., Fort Wayne, IN. The Ohio State University Extension, Columbus. p. 15-26, 2010.

MACHADO, M. G.; DETMANN, E.; MANTOVANI, H. C.; VALADARES FILHO, S. C.; BENTO, C. B. P.; MARCONDES, M. I.; ASSUNÇÃO, A. S. **Evaluation of the length of adaptation period for changeover and crossover nutritional experiments with cattle fed tropical forage-based diets.** Animal Feed Science and Technology, v. 222, p. 132–148, 2016.

MIGLIANO, M. E. D. A.; SILANO, C.; MARTINS, C. M. M. R.; ARCARI, M. A.; SANTOS, M. V. **Effect of dietary nitrogen source and crude protein content on**

**nitrogen balance and lactating performance of dairy cows.** Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science, v. 53, p. 72–87, 2016.

MJOUN, K.; KALSCHEUR, K. F.; HIPPEN, A. R.; SCHINGOETHE, D. J. **Ruminal degradability and intestinal digestibility of protein and amino acids in soybean and corn distillers grains products.** J. Dairy Sci., v. 93, p. 4144–4154, 2010.

MORRIS, D. L.; KIM, S. H.; KONONOFF, P. J.; LEE, C. **Continuous 11-week feeding of reduced-fat distillers grains with and without monensin reduces lactation performance of dairy cows.** J. Dairy Sci., v. 101, p. 5971–5983, 2018.

MUTSVANGWA, T.; DAVIES, K. L.; MCKINNON, J. J.; CHRISTENSEN, D. A. **Effects of dietary crude protein and rumen-degradable protein concentrations on urea recycling, nitrogen balance, omasal nutrient flow, and milk production in dairy cows.** J. Dairy Sci., v. 99, p. 6298–6310, 2016.

NASEM, 2021. **Nutrient Requirements of Dairy Cattle.** 8th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.

NICHOLS, J. R.; SCHINGOETHE, D. J.; MAIGA, H. A.; BROUK, M. J.; PIEPENBRINK, M. S. **Evaluation of corn distillers grains and ruminally protected lysine and methionine for lactating dairy cows.** J. Dairy Sci., v. 81, p. 482–491, 1998.

NOUSIAINEN, J.; SHINGFIELD, K. J.; HUHTANEN, P. **Evaluation of milk urea nitrogen as a diagnostic of protein feeding.** J. Dairy Sci., v. 87, p. 386–398, 2004.

NRC - **National Research Council. Nutrient requirements of dairy cattle.** Updated 7th. ed. Washington, DC: National Academy Press, 2001.

NUTTELMAN, B. L., GRIFFIN, W. A., BENTON, J. R., ERICKSON, G., KLOPFENSTEIN, T. **Comparing dry, wet, or modified distillers grains plus solubles on feedlot cattle performance.** Nebraska Beef Cattle Reports, v. 619, p. 50-52, 2011.

RAMIREZ-RAMIREZ, H. A.; CASTILLO-LOPEZ, E.; JENKINS, C. J. R.; ALUTHGE, N. D.; ANDERSON, C.; FERNANDO, S. C.; HARVATINE, K. J.; KONONOFF, P. J. **Reduced-fat dried distillers grains with solubles reduces the risk for milk fat depression and supports milk production and ruminal fermentation in dairy cows.** J. Dairy Sci., v. 99, p. 1912–1928, 2016.

RANATHUNGA SD., KALSCHEUR KF., ANDERSON JL., HERRICK J. **Production of dairy cows fed distillers dried grains with soluble in low-and high-forage diets.** J. Dairy Sci., v. 101, p. 1-13, 2018.

RICHARDSON, C. R.; HATFIELD, E. E. **The limiting amino acids in growing cattle.** J. Animal Sci., v. 46, p. 740-745, 1978.

RIUS, A. G. MCGILLIARD, M. L.; UMBERGER, C. A.; HANIGAN, M. D. **Interactions of energy and predicted metabolizable protein in determining nitrogen efficiency in the lactating dairy cow.** J. Dairy Sci., v. 93, p. 2034–2043, 2010.

SAXTON, R. A., K. E. KNOCKENHAUER, R. L. WOLFSON, L. CHANTRANUPONG, M. E. PACOLD, T. WANG, T. U. SCHWARTZ, AND D. M. SABATINI. **Structural basis for leucine sensing by the Sestrin2-mTORC1 pathway.** Science, v. 351, p. 53–58, 2016.

SCHINGOETHE, D.J.; KALSCHEUR, K.F.; HIPPEN, A.R. **Invited review: The use of distillers products in dairy cattle diets.** J. Dairy Sci., v. 92, p. 5802-5813, 2009.

SCHWAB, C. G.; BOZAK, C. K.; WHITEHOUSE, N. L.; MESSBAH, M. M. A. **Amino acid limitation and flow to duodenum at four stages of lactation.** 1. Sequences of lysine and methionine limitation. J. Dairy Sci., v. 75, p. 3486-3502, 1992.

SILVA, J. R., D. P. NETTO, V. M. SCUSSEL. **Grãos secos de destilaria com solúveis, aplicação em alimentos e segurança: revisão.** Pubvet, v. 10, p. 257-270, 2016.

SILVA, M. R., M. A. A. P. D. SILVA. **Fatores antinutricionais: Inibidores de proteases e lectinas.** Revista de Nutrição, v. 13, p. 3-9, 2000.

SWANEPOEL, N.; ROBINSON, P. H.; ERASMUS, L. J. **Determining the optimal ratio of canola meal and high protein dried distillers grain protein in diets of high producing Holstein dairy cows.** Animal Feed Science and Technology, v. 189, p. 41–53, 2014.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional Ecology of the Rumen, 2<sup>nd</sup> Edition.** Cornell University. p. 4. 1994.

WERLE, C. H. **Utilização de grãos secos de destilaria com solúveis (DDGS) de milho na alimentação de vacas em lactação.** 2017. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2017.

YODER, P. S.; HUANG, X.; TEIXEIRA, I. A.; CANT, J. P.; HANIGAN, M. D. **Effects of jugular infused methionine, lysine, and histidine as a group or leucine and isoleucine as a group on production and metabolism in lactating dairy cows.** J. Dairy Sci., v. 103, p. 2387–2404, 2020.

ZHANG, S. Z., PENNER, G. B., YANG, W. Z., OBA, M. **Effects of partially replacing barley silage or barley grain with dried distillers grains with solubles on rumen fermentation and milk production of lactating dairy cows.** J. Dairy Sci., v. 93, p. 3231–3242, 2010.

ZHAO, X.; ZANG, C.; ZHAO, S.; ZHENG, N.; ZHANG, Y.; WANG, J. Xiaowei et al. **Assessing milk urea nitrogen as an indicator of protein nutrition and nitrogen utilization efficiency: A meta-analysis.** J. Dairy Sci., v. 108, p. 4851–4862, 2025.

ZHOU, Z.; VAILATI-RIBONI, M.; TREVISI, E.; DRACKLEY, J. K.; LUCHINI, D. N.; LOOR, J. J. **Better postpartal performance in dairy cows supplemented with rumen-protected methionine compared with choline during the periparturient period.** J. Dairy Sci., v. 99, p. 8716–8732, 2016.

ZYNDA, H. M., J. E. COPELIN, L. R. REBELO, W. P. WEISS, M. WILKEN, C. LEE. 2022. **Effects of corn distillers grains with yeast bodies and manipulation of dietary cation and anion difference on production, nutrient digestibility, and gas emissions from manure in lactating cows.** J. Dairy Sci., v. 105, p. 8054–8068, 2022.