



Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

**QUALIDADE DO QUEIJO PRODUZIDO COM LEITE DE VACAS
MESTIÇAS ALIMENTADAS COM NÍVEIS CRESCENTES DE
PALMA FORRAGEIRA NA ENSILAGEM COM SORGO
BIOMASSA BRS 716**

ISABELLA MARTINS ALMEIDA

2025

ISABELLA MARTINS ALMEIDA

Qualidade do queijo produzido com leite de vacas mestiças alimentadas com níveis crescentes de palma forrageira na ensilagem com sorgo biomassa BRS 716

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Zootecnia no Semiárido, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Prof. Dr. Vicente Ribeiro Rocha Junior

Janaúba

2025

Almeida, Isabella Martins

A447q

Qualidade do queijo produzido com leite de vacas mestiças alimentadas com níveis crescentes de palma forrageira na ensilagem com sorgo biomassa BRS 716 [manuscrito] / Isabella Martins Almeida – 2025.

69 p.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Estadual de Montes Claros – Janaúba, 2025.

Orientador: Prof. D. Sc. Vicente Ribeiro Rocha Júnior.

1. Bovinos-Alimentação e rações. 2. Leite Qualidade. 3. Palma forrageira. 4. Queijo. 5. Sorgo biomassa. I. Rocha Júnior, Vicente Ribeiro. II. Universidade Estadual de Montes Claros. III. Título.

CDD. 637.30287

Ata de Reunião

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Nome do Acadêmico: **Isabella Martins Almeida**

CPF do Acadêmico: 137.081.156-00

Programa de Pós-graduação em Zootecnia

Nível: Mestrado

Departamento: Ciências Agrárias

Título da dissertação: **“Qualidade do queijo produzido com leite de vacas mestiças alimentadas com níveis crescentes de palma forrageira na ensilagem com sorgo biomassa BRS 716”**

Após declarada aberta a sessão, o Presidente passa a palavra aos examinadores para as devidas arguições que se desenvolvem nos termos regimentais. Em seguida, a Comissão Julgadora proclama o resultado:

Membros da Banca Examinadora:

Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior/ Presidente/ UNIMONTES

Dr. Flávio Pinto Monção/ Membro Interno/ UNIMONTES

Dra. Luciana Albuquerque Caldeira Rocha/Membro Interno/UNIMONTES

Dr. André Santos de Souza/Membro Interno/UNIMONTES

Dra. Sibelli Passini Barbosa Ferrão/ Membro Externo/UESB

Resultado: Aprovado

- Nota: 9,0

- Conceito (A = 9–10/ B = 7,5-8,9/ C = 6-7,4/ D = 0-5,9): B

APRECIACÃO SOBRE A DISSERTAÇÃO

Aos **30 dias do mês de Abril de 2025**, às **09:00h**, por meio da plataforma digital **Google Meet**, realizou-se a defesa da dissertação da acadêmica **Isabella Martins Almeida**, matriculada no Programa de Pós-

Graduação em Zootecnia. A acadêmica foi considerada **APROVADA** pelos membros acima nomeados. A acadêmica tem prazo máximo de 90 dias para as correções e entrega da versão definitiva, conforme as normas definidas pelo PPGZ e pela Unimontes.

Eu, **Vicente Ribeiro Rocha Júnior**, lavrei a presente Ata que segue por mim assinada e pelos demais membros da Banca Examinadora.

O curso é reconhecido e Homologado pelo CNE (Portaria MEC N° 1.077- DOU de 13/09/2012 - Parecer CES/CNE 277/2007, 17/01/2008) Renovação do Reconhecimento: (RESOLUÇÃO SEDECTS N° 15, de 14 DE MARÇO 2019, D.O.MG de 26/03/2019).



Documento assinado eletronicamente por **Vicente Ribeiro Rocha Junior , Professor(a)**, em 30/04/2025, às 13:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **André Santos De Souza registrado(a) civilmente como André Santos de Souza, Usuário Externo**, em 30/04/2025, às 16:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **Flávio Pinto Monção, Professor(a)**, em 30/04/2025, às 17:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luciana Albuquerque Caldeira Rocha , Professor(a)**, em 02/05/2025, às 15:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sibelli Passini Barbosa Ferrão , Usuário Externo**, em 13/05/2025, às 11:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.mg.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **112666008** e o código CRC **9D69638A**.

DEDICATÓRIA

À minha mãe, que ensinou tantas crianças a sonhar, e fez do meu caminho o mais bonito de aprender.

Ao meu pai, que atrás de um volante me guiou por uma estrada mais segura, da qual ele mesmo não teve a oportunidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, que me concedeu serenidade e força para trilhar este caminho e concluir este trabalho. Sem Sua luz, nada disso seria possível.

À minha amada família, meu porto seguro, meus exemplos de vida, meus pais Kátia e José Cláudio. Vocês, que abdicaram de noites de sono para cuidar de mim, que trabalharam incansavelmente para me proporcionar o melhor, que me ensinaram o valor da honestidade, da perseverança e do amor ao próximo. Vocês, que me apoiaram em cada decisão, me incentivaram em cada desafio e me ampararam em cada queda. Vocês são a minha base, a minha fortaleza, o meu maior orgulho. Agradeço a Deus todos os dias por ter me dado pais tão maravilhosos. Amo vocês mais do que as palavras podem expressar.

Aos meus amados avós, Izabel, Prachedo e Arlinda. Vocês, que me pegaram no colo, me ensinaram a caminhar, me alimentaram com a mais pura comida e me cobriram com o mais aconchegante cobertor. Vocês, que me deram colo nos momentos de tristeza, me incentivaram nos momentos de dúvida e celebraram cada conquista como se fosse sua própria. Vocês são a minha história, minhas raízes, meus exemplos de vida. Agradeço a Deus todos os dias por ter me dado a bênção de tê-los em minha vida. Amo vocês do fundo do meu coração.

Às minhas queridas irmãs, Taynnar e Bianca, minhas companheiras de aventuras, confidentes, amigas para todas as horas. Agradeço por cada abraço, cada risada, cada palavra de apoio. Vocês são meu porto seguro, meu pedaço de infância, meu presente de Deus. Amo muito vocês!

Aos meus afilhados, Vinicius, Antônio e Bento, minha inspiração mais doce. Obrigada por me lembrarem, com seus sorrisos e gestos espontâneos, do que realmente importa na vida. Que eu possa ser, para vocês, um exemplo de dedicação e amor, assim como vocês são, para mim, uma fonte constante de alegria e motivação. Cada conquista minha também é por vocês.

Aos meus professores, mestres que iluminaram minha jornada acadêmica, sou grata pelos ensinamentos e incentivos. Em especial, ao meu orientador, Dr. Vicente Ribeiro Rocha Júnior, meu eterno reconhecimento por sua sabedoria, competência e paciência, que foram fundamentais para a realização deste sonho.

À minha co-orientadora, Luciana Albuquerque Caldeira Rocha, minha sincera gratidão por ter aceitado caminhar ao meu lado nessa jornada. Obrigada por cada conselho, pela atenção aos detalhes e pela paciência nos momentos de dúvida. Sua orientação técnica e sensibilidade humana foram fundamentais para a construção deste trabalho. Levo comigo não apenas os ensinamentos acadêmicos, mas também o exemplo de profissionalismo, empatia e dedicação que você representa. Foi uma honra aprender com você.

Aos Drs. Flávio Pinto Monção e André Santos de Souza, minha profunda gratidão pelas valiosas contribuições e sugestões que enriqueceram este trabalho, tornando-o ainda mais completo.

Às minhas colegas de laboratório, parceiras de tantas conquistas, meu sincero agradecimento por cada momento compartilhado, cada desafio enfrentado em equipe e cada aprendizado construído juntas. Obrigada por estarem ao meu lado nas longas horas de análise, nas dúvidas que viraram descobertas, nos erros que nos fizeram crescer e nas conquistas que celebramos como vitórias coletivas. Em especial, à Ranney, Izabela e Kawane, por todo apoio, paciência, ensinamentos e amizade. Vocês tornaram essa caminhada mais leve, mais rica e muito mais significativa. Este trabalho também carrega um pouco de cada uma de vocês.

À Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), pela minha formação profissional.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, pelo apoio financeiro à pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – INCT-Ciência Animal.

Por fim, mas não menos importante, meu sincero agradecimento a todos que, de alguma forma, fizeram parte desta etapa tão importante da minha vida. Cada palavra de apoio, cada gesto de carinho e cada sorriso de incentivo foram essenciais para que eu chegasse até aqui. Vocês moram em meu coração e levarei cada um de vocês comigo em minha jornada.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....	17
GENERAL ABSTRACT.....	18
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	14
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1 Palma Forrageira	15
2.2 Nutrição animal e a influência na qualidade do leite	17
2.3 Uso da palma forrageira na produção de leite	20
2.4 Qualidade do leite e processamento do queijo de vacas alimentadas com palma forrageira	22
3. REFERÊNCIAS.....	24
4. CAPÍTULO 1: Impactos sobre a qualidade do queijo produzido com o leite de vacas alimentadas com diferentes níveis de palma forrageira ensilada com o sorgo biomassa brs 716 36	
4.1 INTRODUÇÃO	38
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	40
4.2.1 Aprovação do comitê de ética	40
4.2.2 Local da pesquisa e clima	40
4.2.3 Dietas Experimentais (Tratamentos)	40
4.2.4 Avaliação da qualidade do leite.....	42
4.2.5 Processamento do queijo tipo Minas frescal	43
4.2.6 Análises físico-químicas do queijo.....	43
4.2.7 Avaliação do perfil de ácidos graxos	44
4.2.8 Análise sensorial do queijo	45
4.2.9 Análise de componentes principais.....	45
4.2.10 Análises estatísticas	45
4.3 RESULTADOS	46
4.4 DISCUSSÃO	52
4.5 CONCLUSÕES.....	60

4.6	AGRADECIMENTOS.....	62
4.7	REFERÊNCIAS.....	62

NORMAS DA REVISTA CIENTÍFICA

Esta dissertação segue as premissas básicas da Revista Brasileira de Zootecnia (RBZ).

Link: <https://rbz.org.br/>

RESUMO GERAL.

ALMEIDA, Isabella Martins Almeida. **Qualidade do queijo produzido com leite de vacas mestiças alimentadas com níveis crescentes de palma forrageira na ensilagem com sorgo biomassa BRS 716**. 2025. 69 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, Minas Gerais, Brasil¹.

A pecuária leiteira no semiárido brasileiro enfrenta desafios relacionados à escassez hídrica e à sazonalidade na produção de forragem, o que compromete a regularidade e a qualidade da dieta dos animais. Nesse contexto, a palma forrageira (*Opuntia spp.*), associada a outros volumosos como o sorgo, surge como alternativa viável para a alimentação de vacas leiteiras. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da inclusão de níveis crescentes de palma forrageira na ensilagem com sorgo biomassa BRS 716 sobre a qualidade do queijo Minas frescal produzido com leite de vacas mestiças. O experimento foi conduzido na Universidade Estadual de Montes Claros, utilizando dez vacas $\frac{3}{4}$ Holandês x Zebu em delineamento em quadrado latino 5x5, com silagens contendo 0%, 15%, 30%, 45% e 60% de palma forrageira na matéria natural. Foram avaliadas produção e composição do leite. Do queijo as análises realizadas incluíram, características físico-químicas do queijo (gordura, proteína, umidade, cinzas, pH e acidez), textura, cisalhamento, perfil de ácidos graxos e aceitação sensorial. Os resultados indicaram que a inclusão de palma não influenciou significativamente os teores de gordura, sólidos totais, umidade, cinzas e textura do queijo. No entanto, houve redução no teor de ácido esteárico e aumento do índice de trombogenicidade com a inclusão de palma, impactando negativamente o perfil lipídico do queijo. No teste sensorial, o atributo sabor apresentou menor aceitação nos queijos com palma. Recomenda-se que a inclusão de palma forrageira seja limitada a 30%, garantindo viabilidade em regiões semiáridas sem comprometer a qualidade geral do queijo, mas com necessidade de ajustes para otimizar o perfil lipídico e sensorial.

Palavras-chave: perfil lipídico, análise sensorial, derivados lácteos, semiárido.

¹ **Comitê de Orientação:** Prof. Vicente Ribeiro Rocha Júnior – Departamento de Ciências Agrárias/ Unimontes (Orientador); Prof. Luciana Albuquerque Caldeira Rocha – Departamento de Ciências Agrárias/Unimontes (Coorientador); Dr. André Santos de Souza - Departamento de Ciências Agrárias/Unimontes (Coorientador).

GENERAL ABSTRACT.

ALMEIDA, Isabella Martins Almeida. **Quality of cheese produced with milk from crossbred cows fed increasing levels of forage cactus in silage with BRS 716 biomass sorghum**. 2025. 69 p. Dissertation (Master's in Animal Science) – State University of Montes Claros, Janaúba, Minas Gerais, Brazil.

Dairy farming in the Brazilian semi-arid region faces challenges related to water scarcity and the seasonality of forage production, which compromise the consistency and quality of animal diets. In this context, forage cactus (*Opuntia spp.*), combined with other forages such as sorghum, emerges as a viable alternative for feeding dairy cows. This study aimed to evaluate the effect of increasing levels of forage cactus in silage with BRS 716 biomass sorghum on the quality of Minas Frescal cheese produced from the milk of crossbred cows. The experiment was conducted at the State University of Montes Claros, using ten ¾ Holstein x Zebu cows in a 5x5 Latin square design, with silages containing 0%, 15%, 30%, 45%, and 60% forage cactus on a natural matter basis. Milk production and composition were evaluated. The cheese analyses included physicochemical characteristics (fat, protein, moisture, ash, pH, and acidity), texture, shear force, fatty acid profile, and sensory acceptance. The results indicated that the inclusion of forage cactus did not significantly affect the fat, total solids, moisture, ash, or texture of the cheese. However, there was a reduction in stearic acid content and an increase in the thrombogenicity index with the inclusion of cactus, negatively impacting the cheese's lipid profile. In the sensory test, the flavor attribute showed lower acceptance for cheeses containing cactus. It is recommended that the inclusion of forage cactus be limited to 30%, ensuring feasibility in semi-arid regions without compromising the overall quality of the cheese, but with the need for adjustments to optimize its lipid and sensory profile.

Keywords: fatty acid profile, sensory analysis, dairy products, semi-arid region.

² **Guidance Committee:** Prof. Vicente Ribeiro Rocha Júnior – Department of Agricultural Sciences/Unimontes (Advisor); Prof. Luciana Albuquerque Caldeira Rocha - Department of Agricultural Sciences/ Unimontes (Co-advisor); Dr. André Santos de Souza - Department of Agricultural Sciences/ Unimontes (Co- advisor).

1. INTRODUÇÃO GERAL

A pecuária leiteira é um dos pilares da produção animal no Brasil, contribuindo significativamente para a segurança alimentar, geração de empregos e o desenvolvimento socioeconômico, especialmente em regiões semiáridas. O país destaca-se entre os maiores produtores mundiais de leite, com destaque para o sistema produtivo baseado no uso de vacas mestiças (Silva *et al.*, 2019; FAO, 2022).

No entanto, a sazonalidade na produção de forragem, intensificada pelas características climáticas do semiárido, como a escassez hídrica prolongada, compromete a regularidade e a qualidade da dieta dos animais (Ferreira *et al.*, 2009; IBGE, 2022). Diante disso, a adoção de estratégias alimentares baseadas no uso de volumosos adaptados às condições climáticas adversas, como a palma forrageira (*Opuntia spp.* e *Nopalea spp.*), tem se mostrado promissora na busca por maior sustentabilidade e eficiência nos sistemas de produção leiteira (Menezes *et al.*, 2002; Silva *et al.*, 2013).

A palma forrageira destaca-se pela alta capacidade de adaptação às regiões áridas e semiáridas, elevada produtividade de biomassa, excelente teor de carboidratos não fibrosos e grande conteúdo de água, contribuindo não apenas para a nutrição energética, mas também para a hidratação dos animais (Vieira, 2006; Ferreira *et al.*, 2012). No entanto, seu baixo teor de matéria seca e fibra fisicamente efetiva requer associação com outros volumosos ricos em fibra, como a silagem de sorgo, para evitar distúrbios digestivos e garantir adequada eficiência ruminal (Melo *et al.*, 2006; Cordeiro *et al.*, 2023).

O sorgo biomassa BRS 716, por sua vez, possui alto potencial de produção de massa seca e adaptação ao clima semiárido, sendo uma excelente alternativa forrageira para ensilagem. Sua combinação com palma forrageira pode otimizar o valor nutricional da dieta, potencializando o desempenho produtivo de vacas leiteiras e influenciando positivamente a qualidade do leite e dos seus derivados (Costa *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2024).

De acordo com Nudda *et al.* (2014) e Buccioni *et al.* (2012), a alimentação tem influência direta sobre a composição físico-química e o perfil de ácidos graxos do leite e consequentemente do queijo, fatores que impactam não apenas o valor nutricional, mas também a aceitabilidade sensorial e o valor agregado dos derivados lácteos. Dietas que incluem fontes fibrosas e volumosas alternativas podem alterar a concentração de ácidos

graxos desejáveis, como o ácido linoléico conjugado (CLA), ácido oléico e vacênico, melhorando os índices lipídicos do leite e seus derivados.

Avaliando-se os efeitos dessas dietas sobre produtos lácteos, o queijo Minas Frescal se mostra relevante por ser amplamente consumido no Brasil e apresentar características que permitem identificar alterações sensoriais e físico-químicas resultantes da dieta das vacas. Avaliando os efeitos da palma forrageira em associação a diferentes volumosos (silagem de sorgo, capim elefante e cana-de-açúcar), sobre a qualidade do queijo Minas Frescal, Soares *et al.* (2019) demonstraram que o uso da palma forrageira associada a diferentes volumosos pode alterar o perfil lipídico e a aceitabilidade sensorial do queijo sem comprometer suas propriedades e qualidades. Contudo, há lacunas no conhecimento sobre a melhor proporção de palma forrageira na dieta total de vacas em lactação sobre a qualidade do queijo. Desta forma, objetivou-se no presente trabalho avaliar níveis de inclusão da palma forrageira ensilada com o sorgo biomassa BRS 716 na dieta de vacas em lactação sobre a qualidade do queijo Minas frescal.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Palma Forrageira

A palma forrageira (*Opuntia spp.* e *Nopalea spp.*) tem origem no México, de onde se espalhou por todo o continente americano em sistemas de cultivo e em forma silvestre. Atualmente, essa cactácea está amplamente difundida em regiões áridas e semiáridas da Ásia, África, Europa e Oceania (Jardim *et al.*, 2020). Sua introdução no Brasil ocorreu no século XVIII, no Nordeste, com o objetivo de produzir o corante ácido carmínico a partir da criação da cochonilha-do-carmim (*Dactylopius coccus*) (Rocha, 2012). Contudo, foi apenas no século XX que se iniciou sua produção voltada à alimentação animal, sendo posteriormente denominada palma forrageira (Lira *et al.*, 2017).

A importância da palma forrageira está relacionada à sua elevada adaptabilidade às condições edafoclimáticas do semiárido, destacando-se pela eficiência no uso da água e nutrientes. Essa eficiência é atribuída ao metabolismo fotossintético do tipo Metabolismo Ácido das Crassuláceas (CAM), caracterizado pela abertura dos estômatos durante a noite, o que reduz significativamente as perdas de água por evapotranspiração (Almeida, 2012; Dubeux Jr., 2016).

Além de suas características adaptativas, a palma apresenta composição nutricional que favorece sua utilização na alimentação de ruminantes. Rica em carboidratos não fibrosos, especialmente pectinas, possui alto valor energético, sendo indicada como alternativa viável, inclusive para animais de alta produção (Aguilar *et al.*, 2015; Marques *et al.*, 2017). A composição química da palma pode variar conforme o cultivar e as condições de cultivo, com teores de proteína bruta entre 41,0 e 75,4 g/kg de matéria seca (MS), fibra em detergente neutro (FDN) entre 236 e 277 g/kg de MS e carboidratos não fibrosos (CNF) de 460 a 528 g/kg de MS (Rocha Filho *et al.*, 2021). Esses atributos conferem ao alimento elevada degradabilidade ruminal e bom aproveitamento dos nutrientes digestíveis (Batista *et al.*, 2003), além de promoverem maior síntese de proteína microbiana (Cardoso *et al.*, 2019). No entanto, o fornecimento deve ser associado a fontes de fibra fisicamente eficaz e proteína (Soares *et al.*, 2020), visto que, isoladamente, a palma pode provocar distúrbios digestivos, como diarreias, devido ao baixo teor de fibra efetiva (Rodrigues *et al.*, 2016).

Dentre as variedades mais utilizadas na alimentação de ruminantes destacam-se a palma gigante (*Opuntia ficus-indica*), a palma redonda (*Opuntia sp.*) e a palma miúda ou doce (*Nopalea cochenillifera*), sendo preferidas por apresentarem elevado rendimento de matéria seca por área e bom teor energético (Marques *et al.*, 2017). A palma gigante possui porte ereto, podendo atingir até 3 metros de altura, com raquetes de cerca de 1 kg e até 50 cm de comprimento. Apesar de apresentar alta produtividade e resistência à seca, é considerada menos palatável e com menor valor nutricional, além de ser mais suscetível à cochonilha-do-carmim (Silva & Santos, 2007; Neves *et al.*, 2010).

A palma redonda apresenta caule mais ramificado lateralmente, com raquetes arredondadas de aproximadamente 1,8 kg e 40 cm de comprimento. Produz um material mais tenro e palatável que a palma gigante. Já a palma miúda ou doce é de porte baixo, com raquetes que pesam cerca de 350 g e possuem forma arredondada e ovóide, sendo considerada a mais nutritiva e palatável entre as variedades, embora menos resistente à seca (Silva & Santos, 2007).

Rodrigues *et al.* (2016), ao avaliarem diferentes cultivares de palma forrageira, observaram variação nos teores de matéria seca (12,85 a 14,58 g/100 g), fibra em detergente neutro (164,67 a 198,99 g/kg MS), proteína bruta (68,01 a 82,52 g/kg MS) e minerais, com oscilação relacionada a fatores como tipo de solo, condições climáticas,

fertilização, época de colheita e manejo. Dessa forma, é essencial considerar essas variáveis no uso da palma na alimentação animal, a fim de evitar desequilíbrios nutricionais.

A palma forrageira é rica em ácidos graxos insaturados e compostos bioativos que podem influenciar positivamente a qualidade do leite e seus derivados (Maniaci *et al.*, 2023). A composição da palma forrageira é caracterizada por ácidos graxos insaturados, com destaque para o ácido linoleico (C18:2) representando aproximadamente 66,79% do total, seguido pelo ácido oleico (C18:1) com cerca de 15,16% e o ácido palmítico (C16:0) com 12,70% (Chougui *et al.*, 2013). A inclusão de palma forrageira na dieta de ruminantes pode, portanto, enriquecer o perfil lipídico do leite, aumentando a concentração de ácidos graxos poli-insaturados benéficos à saúde humana (Chougui *et al.*, 2013).

Além dos ácidos graxos, a palma forrageira é rica em compostos secundários bioativos, como polifenóis, flavonoides (quercetina, isorhamnetina, kaempferol) e mucilagen (Pierdomenico *et al.*, 2025) . Esses compostos possuem propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, que podem contribuir para a melhoria da qualidade nutricional e sensorial do leite e do queijo. A presença desses bioativos na dieta dos animais pode modular a microbiota ruminal e influenciar a síntese de componentes do leite, resultando em produtos lácteos com maior valor agregado (Maniaci *et al.*, 2024).

2.2 Nutrição animal e a influência na qualidade do leite

O leite é a secreção característica da glândula mamária das fêmeas de mamíferos e é considerado um dos alimentos mais completos devido à presença equilibrada de três grupos de componentes: emulsão de gordura e vitaminas lipossolúveis em água, dispersão de proteínas do soro e uma solução aquosa de lactose e sais minerais (Cruz *et al.*, 2016). Composto majoritariamente por água, o leite também apresenta sólidos não gordurosos (lactose, minerais, enzimas e compostos nitrogenados) além de lipídios, incluindo gordura verdadeira e outros componentes graxos (Tronco, 2013).

No Brasil, as Instruções Normativas nº 76 e nº 77, ambas de 26 de novembro de 2018, regulamentam a qualidade e o controle do leite. A IN nº 76 define os parâmetros para o leite cru refrigerado, pasteurizado e tipo A, enquanto a IN nº 77 estabelece critérios para produção, conservação, transporte e recepção do leite cru, visando garantir sua qualidade e

segurança (Brasil, 2018). Os valores de referência dos principais componentes do leite estão descritos na Tabela 1, conforme a IN nº 76.

Tabela 1: Composição mínima dos elementos sólidos que deverão estar contidos no leite de bovinos, conforme a IN nº 76.

Componentes	%
Gordura	3,0
Proteína	2,9
Lactose	4,3
Sólidos não gordurosos	8,4
Sólidos totais	11,4

Fonte: Adaptada de BRASIL (2018).

A composição do leite tem grande relevância em toda a cadeia produtiva de produção de lácteos e derivados, e, atualmente, a indústria láctea tem avançado para sistemas de pagamento por qualidade, priorizando maiores concentrações de sólidos e menores contagens de células somáticas (CCS) e contagem padrão em placas (CPP) (Thaler Neto *et al.*, 2017).

A formulação de dietas para vacas leiteiras exige conhecimento detalhado das exigências nutricionais da espécie, incluindo proteína, energia, fibras, minerais e vitaminas. Além disso, é fundamental compreender como os nutrientes interagem no ambiente ruminal para garantir eficiência produtiva (Erickson e Kalscheur, 2020). A fermentação ruminal é essencial tanto para o fornecimento de energia quanto para a síntese de precursores de gordura, proteína e lactose (Mühlbach, 2010). Assim, mudanças na composição da dieta podem alterar a população microbiana do rúmen e, consequentemente, a composição do leite (Martins *et al.*, 2015).

Do ponto de vista industrial, a composição físico-química do leite é determinante para o rendimento na produção de derivados, especialmente pelo teor de gordura e de sólidos não gordurosos (Mendonça *et al.*, 2001). A gordura do leite é um dos componentes mais variáveis, sendo influenciada por fatores genéticos, ambientais e nutricionais (Reis *et al.*, 2013). Apenas cerca de 40% dos ácidos graxos do leite são oriundos diretamente da fermentação ruminal, enquanto 60% são derivados de ácidos graxos não esterificados

circulantes e da síntese de ácidos graxos de cadeia curta no epitélio mamário (Welter *et al.*, 2016).

Do ponto de vista tecnológico e nutricional, a gordura é um componente fundamental do leite, sendo a base para a fabricação de produtos como manteiga, queijos, iogurtes e requeijões. Além disso, representa uma importante fonte energética e de ácidos graxos essenciais, como o ácido linoleico (Abreu, 2005). Segundo os mesmos autores, os principais ácidos graxos presentes no leite incluem C16:0 (palmítico), C14:0 (mirístico), C18:0 (esteárico) e C18:1 cis-9 (oleico), contribuindo, em média, com 26%, 11%, 10% e 20% do total, respectivamente. Ácidos graxos de cadeia curta, como C4:0 (butírico), C6:0 (caproico), C8:0 (caprílico) e C10:0 (cáprico), representam cerca de 11% da gordura total. Em termos de saturação, aproximadamente dois terços dos ácidos graxos do leite são saturados, sendo o ácido oleico o principal ácido graxo insaturado (Abreu, 2005).

A gordura do leite origina-se tanto de lipídios sintetizados na glândula mamária quanto de ácidos graxos pré-formados absorvidos da corrente sanguínea. Dentre esses, cerca de 10% derivam da mobilização de reservas corporais, enquanto o restante provém diretamente da dieta (Zhe L *et al.*, 2023; Bodkowski *et al.*, 2024)

Dietas ricas em lipídios, especialmente aquelas com altos teores de ácidos graxos insaturados, podem reduzir os teores de gordura do leite. Esse efeito está associado à ação tóxica sobre a microbiota ruminal, o que compromete a produção de acetato e butirato, precursores importantes para a síntese lipídica mamária. A bio-hidrogenação ruminal atua como mecanismo de defesa, convertendo ácidos graxos insaturados em saturados para preservar a estabilidade do ambiente ruminal (Shingfield *et al.*, 2010). Contudo, esse processo pode gerar intermediários com efeito inibidor sobre a síntese de gordura no leite, como C18:1 trans-10 e C18:2 cis-9, trans-12 (CLA) (Pires e Grummer, 2008).

A baixa correlação entre os ácidos graxos da dieta e os presentes no leite é atribuída a três principais fatores: bio-hidrogenação ruminal, síntese microbiana e ação da enzima $\Delta 9$ -desaturase, que introduz uma ligação dupla cis-9 nos ácidos graxos. Essa enzima converte, por exemplo, C18:0 (esteárico) em C18:1 cis-9 (oleico) e C18:1 trans-11 (vaccênico) em C18:2 cis-9 trans-11 (rumênico), principal isômero do CLA (Grinari e Baum, 1999). Ácidos graxos poli-insaturados, como o CLA e o ácido linolênico, estão associados a efeitos benéficos à saúde humana, como redução do risco de doenças cardiovasculares e propriedades

imunomoduladoras (Bauman *et al.*, 2011). A bio-hidrogenação ruminal também pode ser influenciada pela cinética ruminal, a qual é determinada pela dieta e manejo alimentar. Neste sentido, a inclusão de palma forrageira na dieta das vacas pode elevar a taxa de passagem e, conseqüentemente, diminuir o tempo disponível no rúmen para a completa bio-hidrogenação ruminal, influenciando assim o perfil de ácidos graxos que chega ao intestino delgado para absorção intestinal (de Lima Cruz *et al.*, 2023).

A proteína do leite também é influenciada pela nutrição, embora o teor proteico responda mais ao fornecimento de energia do que ao teor de proteína da dieta. Segundo Farrell *et al.* (2004), o teor de proteína do leite varia entre 2,8% e 4,0%, sendo mais influenciado pela ingestão energética do que pela ingestão de proteína bruta, o que pode ser justificado pela síntese de proteína microbiana no rúmen, que é estimulada pelo aumento da disponibilidade de energia para fermentação ruminal, já que a proteína microbiana é a principal fonte de aminoácidos para síntese proteica no tecido animal.

O ácido propiônico, resultante da fermentação ruminal, representa em torno de 18% a 20% dos ácidos graxos voláteis e é o principal precursor da lactose. A lactose exerce papel osmótico no lúmen alveolar, regulando o fluxo de água e, conseqüentemente, o volume de leite produzido. Apesar da sua importância, o teor de lactose no leite permanece relativamente constante, com valor mínimo de 4,3%, mesmo em dietas com menor densidade energética (Brasil, 2018; Santos e Fonseca, 2019).

2.3 Uso da palma forrageira na produção de leite

A forma mais comum de fornecimento da palma forrageira a bovinos leiteiros é picada diretamente no cocho. Por outro lado, o concentrado, quando utilizado, costuma ser oferecido durante a ordenha, o que dificulta uma estimativa precisa da ingestão real, especialmente quando há o fornecimento de mais de um tipo de volumoso (Ramos *et al.*, 2013; Voltolini, 2016).

Quando a palma é incorporada à dieta total misturada (TRM) há uma melhoria no consumo de fibra e no aproveitamento dos nutrientes, podendo assim, representar de 40% a 50% da matéria seca (MS) total da dieta (Embrapa, 2010). A palma apresenta características de um alimento energético, em razão de sua elevada concentração de carboidratos não fibrosos (Santos *et al.*, 2018), embora apresente baixos teores de MS, fibra

em detergente ácido (FDA), fibra em detergente neutro (FDN) e proteína bruta (PB) (Moraes et al., 2019). Tais características justificam a necessidade de estudos que avaliem estratégias nutricionais que contemplem o uso da palma forrageira e seus efeitos sobre o desempenho de vacas leiteiras.

Os baixos níveis de FDN são consistentes entre diferentes espécies de palma forrageira e devem ser considerados, visto que os ruminantes requerem um mínimo de 25% de FDN total e 19% de FDN efetiva na dieta (Alves et al., 2016). Diante disso, Rodrigues et al. (2016) recomendam a combinação da palma com fontes proteicas e volumosos fibrosos, uma vez que a baixa concentração de fibra da cactácea pode comprometer a eficiência do ambiente ruminal. De forma semelhante, Ramos et al. (2013) ressaltaram que a inclusão da palma na dieta deve estar associada à suplementação proteica e a um volumoso fibroso para evitar distúrbios digestivos.

Oliveira et al. (2007), ao avaliarem a substituição do milho e parte do feno de capim-tifton por palma forrageira na dieta de vacas holandesas em lactação, não observaram alterações significativas na produção ou na composição do leite. Monteiro et al. (2018) também demonstraram que a inclusão da palma em uma dieta com relação volumoso:concentrado de 70:30 foi suficiente para atender às exigências nutricionais de vacas em lactação com produção média de 20 kg de leite/dia.

No estudo conduzido por Wanderley et al. (2002), vacas da raça Holandesa foram alimentadas com dietas contendo níveis crescentes de palma forrageira (0, 12, 24 e 36%) em substituição à silagem de sorgo. Os autores não observaram efeitos significativos sobre a produção de leite (com ou sem correção para 3,5% de gordura), mantendo-se em média 25 kg/vaca/dia. No entanto, o teor de gordura do leite apresentou comportamento quadrático, atingindo valor máximo estimado de 4,08% com a inclusão de 20,51% de palma na dieta.

O aumento no teor de gordura pode estar associado à elevada concentração de carboidratos solúveis e pectina presentes na palma. A pectina, quando comparada ao amido de fontes tradicionais, favorece um perfil fermentativo ruminal mais propício à manutenção dos teores de gordura do leite, promovendo maior produção de ácido acético no rúmen, substrato essencial para a síntese de ácidos graxos de cadeia curta na glândula mamária (Frota et al., 2015; Grunwaldt et al., 2015).

2.4 Qualidade do leite e processamento do queijo de vacas alimentadas com palma forrageira

A modificação da composição do leite por meio da dieta dos animais é uma estratégia já bem explorada, com foco especial na manipulação da fração lipídica, a fim de atender à crescente demanda do mercado por alimentos com maior valor nutricional e funcional. A preocupação com os efeitos deletérios de algumas gorduras saturadas à saúde humana tem impulsionado pesquisas que buscam aumentar os teores de ácidos graxos insaturados, especialmente os considerados nutracêuticos (Eifert *et al.*, 2006).

A composição da dieta influencia diretamente a síntese de componentes do leite e, por consequência, as características físico-químicas, microbiológicas e sensoriais dos produtos lácteos. No caso da palma forrageira, sua inclusão na dieta pode afetar positivamente o metabolismo ruminal e o perfil de ácidos graxos do leite. Os cladódios da palma contêm compostos fenólicos capazes de modular a bio-hidrogenação ruminal, alterando a composição da microbiota e favorecendo a incorporação de ácidos graxos de interesse à saúde humana, como o ácido vaccênico (C18:1 trans-11) e o ácido rumênico (CLA cis-9, trans-11) (da Silva *et al.*, 2023). Além disso, a pectina presente na palma, ao ser fermentada no rúmen, favorece a produção de ácido acético, precursor direto da síntese de gordura na glândula mamária, contribuindo para o aumento do teor de gordura do leite (Maniaci *et al.*, 2023).

No estudo conduzido por Gama *et al.* (2021), vacas leiteiras foram alimentadas com dieta contendo 34% de palma Orelha-de-Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), resultando em aumento significativo dos teores de ácidos vaccênico, linoleico (C18:2 n-6) e rumênico (CLA) na gordura do leite. Esses ácidos graxos possuem reconhecidos efeitos benéficos à saúde, como propriedades anti-inflamatórias, antioxidantes e moduladoras do metabolismo lipídico. Os autores atribuíram esse efeito à redução da bio-hidrogenação total ou à sua incompletude, sugerindo que a palma forrageira pode atuar como ingrediente funcional na dieta de vacas leiteiras.

Além de alterar a composição lipídica do leite, a alimentação com palma também pode influenciar o perfil de ácido graxo do queijo produzido. Maniaci *et al.* (2023) observaram, ao incluir cladódios de palma forrageira na dieta de vacas leiteiras, que o perfil de ácidos graxos dos queijos também foi modificado. Foram identificados teores mais

elevados de ácidos graxos saturados de cadeia média, como caprílico (C8:0), cáprico (C10:0), láurico (C12:0), mirístico (C14:0) e palmítico (C16:0), enquanto o ácido esteárico (C18:0) apresentou redução. Esses resultados indicam uma transferência direta do perfil lipídico da dieta para os derivados lácteos. Além disso, os autores relataram melhorias sensoriais nos queijos, com maior intensidade de odor, sabor e cor, sugerindo que a palma pode conferir características desejáveis aos produtos lácteos.

Em outro estudo, Soares *et al.* (2019) avaliaram a inclusão de 37,5% de palma forrageira na dieta total de vacas leiteiras, associada à silagem de sorgo ou ao capim-elefante. Embora não tenham sido observadas alterações significativas nos parâmetros físico-químicos do leite e do queijo Minas Frescal, houve influência positiva nos testes de aceitação e preferência sensorial do queijo pelos consumidores, indicando que o uso da palma pode melhorar a aceitabilidade do produto final. Já Araújo *et al.* (2023) investigaram o efeito da inclusão de palma forrageira na dieta de cabras leiteiras e observaram não apenas aumento na produção de leite, mas também melhoria na composição nutricional do leite e do queijo, além de maior aceitação nos atributos sensoriais do queijo coalho. Esses dados reforçam o potencial da palma como ingrediente funcional, tanto em vacas quanto em pequenos ruminantes, contribuindo para o desenvolvimento de produtos com melhor valor agregado. Contudo, maiores inclusões de palma forrageira na dieta total de vacas em lactação necessitam de estudos sobre a qualidade do leite e do queijo produzido. Isso se justifica porque a palma forrageira é uma planta adaptada a regiões secas e possui elevada produtividade de massa verde com relativo baixo custo.

3. REFERÊNCIAS

- ABREU, L. R. Leite e derivados, caracterização físico-química, qualidade e legislação. 151 f. il. - Curso de Pós-Graduação "Lato Sensu" (Especialização) a Distância – Processamento e Controle de Qualidade de Carne, Leite e Ovos. Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão. Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2005.
- AGUIAR, A. C. R. de; ROCHA JÚNIOR, V. R.; CALDEIRA, L. A.; ALMEIDA FILHO, S. H. C. de; RUAS, J. R. M.; SOUZA, V. M. de; COSTA, M. D. da; PIRES, D. A. de A. Composição do leite de vacas alimentadas com diferentes fontes de compostos nitrogenados. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 16, n. 3, p. 591–605, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1519-99402015000300011>.
- AGUILAR, P., PIRES, A. J. V., SOARES, M. S., SILVA, L. G., GUIMARÃES, J. O., ROCHA, L. C., MACHADO, T. C., & FRAZÃO, O. S. (2015). Palma forrageira e bagaço de cana tratado com ureia e amônia na dieta de ruminantes. *Revista Nutritime*, 12(01), 3936– 3951.
- ANDREU-COLL, A. L.; LAMADRID, C. M.; SENDRA, E.; BARRACHINA, C. Á.; LEGUA, P.; HERNÁNDEZ, F. Perfil de ácidos graxos de frutas (polpa e casca) e cladódios (jovens e velhos) de figo da Índia [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] de seis cultivares espanholas. *Diário de Comida, Composição e Análise*, v. 84, p. 103294, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103294>.
- ALMEIDA, R. F. (2012). Palma forrageira na alimentação de ovinos e caprinos no semiárido brasileiro. *Revista Verde*, 7(4), 08-14
- ALVES FILHO, D.C., BARCELLOS, J.O.J., ZAGO, D., SARTORI, E.D., ANTUNES, K.K., ANDRADE, N.T., 2016. Características da carcaça de novilhos terminados em confinamento com inclusão parcial na dieta de silagem de girassol. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 24, 139–148.
- ARAÚJO, G. G. L.; SILVA, M. L. M. Alimentação de vacas leiteiras em regiões semiáridas: desafios e perspectivas. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 4, n. 1, p. 109-115, 2014.

BACHMAN, K.C. Managing milk composition. In: VANHORN, H.H.; WILCOX, C.J. Large dairy herd management. Champaign: American Dairy Science Association, 1992

BAUMAN, D. E.; GRIINARI, J. M. Regulation and nutritional manipulation of milk fat: low-fat milk syndrome. *Livestock Production Science*, Amsterdam, v. 70, n. 1-2, p. 15-29, 2001.

BATISTA, A. M. V. et al. Effects of variety on chemical composition, in situ nutrient disappearance and in vitro gas production of spineless cacti. *Journal Science and Food Agriculture*, v.83, n.3, v. 83, p.440-445, 2003.

BENSADÓN, S., HERVERT-HERNÁNDEZ, D., SÁYAGO-AYERDI, S. G., & GOÑI, I. (2010). By-Products of *Opuntia ficus-indica* as a Source of Antioxidant Dietary Fiber. *Plant Foods for Human Nutrition*, 65(3), 210–216. 10.1007/s11130-010-0176-2.

BENCHAAAR, C.; MCALLISTER, T. A; CHOUIINARD, P. Y. Digestion, ruminal fermentation, ciliate protozoal populations, and milk production from dairy cows fed cinnamaldehyde, quebracho condensed tannin, or *Yucca schidigera* saponin extracts. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 91, p. 4765–4777, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 76 de 26 de novembro de 2018. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF. Seção 1, p. 9, 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa no 30 de 26 de junho de 2018. Manual de Métodos Oficiais para Análise de Alimentos de Origem Animal. 2018. *Diário Oficial da União*, Brasília, 26 jun. 2018. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/>. Acesso em: 10 Out. 2023.

BRITO, G. S. M. S., SANTOS, E. M., ARAÚJO, G. G. L., OLIVEIRA, J. S., ZANINE, A. M., PERAZZO, A. F., CAMPOS, F. S., LIMA, A. G. V. O., & CAVALCANTI, H. S. (2020). Mixed silages of cactus pear and gliricídia: chemical composition, fermentation characteristics, microbial population and aerobic stability. *Scientific Reports*. 10, 1-13.

BODKOWSKI, R., WIERZBICKI, H., MUCHA, A. *et al.* Composição e perfil de ácidos graxos do leite de vacas alimentadas com dietas suplementadas com óleo de peixe cru e enriquecido com AGPI n-3. *Sci Rep* 14 , 10968 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-61864-z>

CAVALCANTE, L. A. D.; SANTOS, G. R.; SILVA, L. M.; FAGUNDES, J. L.; SILVA, M. A. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo., v.44, n.4, p.424-433, 2014.

CARDOSO, D.B.; CARVALHO, F.F.R.; MEDEIROS, G.R. et al. Levels of inclusion of spineless cactus (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) in the diet of lambs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, v.247, p.23-31, 2019.

COSTA, R.G.; BELTRÃO FILHO, E.M.; MEDEIROS, A.N.; GIVISIEZ, P.N.; QUEIROGA, R.C.R.E.; MELO, A.A.S. Effects of increasing levels of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) in the diet of dairy goats and its contribution as a source of water. *Small Ruminant Research*, v. 82, n. 1, p. 62-65, 2009.

COSTA, N. M. Efeito de diferentes volumosos associados ao feno do pseudocaule da bananeira sobre a qualidade do queijo e do leite de vacas F1 Holandês/Zebu. 2019. 53 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2019.

CHOUGUI, N., TAMENDJARI, A., HAMIDJ, W., HALLAL, S., BARRAS, A., RICHARD, T., & LARBAT, R. (2013). Oil composition and characterisation of phenolic compounds of *Opuntia ficus-indica* seeds. *Food Chemistry*, 139(1-4), 796-803.

DA SILVA, C. S. Qualidade nutricional da gordura do leite de vacas alimentadas com germe de milho integral em dietas contendo cacto opuntia e bagaço de cana como fontes forrageiras. n 13(4):568 . *Animais*, 2023. <https://doi.org/10.3390/ani13040568>

DEMEYER, D.; DOREAU, M. Targets and procedures for altering ruminant meat and milk lipids. *Proceedings of the Nutrition Society*, v.58, p.593-607, 1999.

DUBEUX, JR., J. C. B. (2016). Cactus: a crop for the dry áreas. University of Florida. n. 28.

EIFERT, E. da C.; LANA, R. de P.; LANNA, D. P. D.; TEIXEIRA, R. M. A.; ARCURI, P. B.; LEÃO, M. I.; et al. Perfil de ácidos graxos e conteúdo de ácido linoléico conjugado no leite de vacas alimentadas com a combinação de óleo de soja e fontes de carboidratos na dieta. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 35, n. 4, p. 1829–1837, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000600034>.

EUCLIDES, V.P.B. Intensificação da produção de carne bovina em pastagem. Embrapa – Gado de Corte. Disponível em: <<http://www.cnpge.embrapa.br/publicações/html>> . Acesso: 18 out. 2023

EMBRAPA. Agronegócio do Leite: Composição, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/criacoes/gado_de_leite/pre-producao/qualidade-e-seguranca/qualidade/composicao#:~:text=O%20leite%20%C3%A9%20uma%20combina%C3%A7%C3%A3o,prote%C3%ADnas%2C%20sais%20minerais%20e%20vitaminas.> . Acesso em: 05 de Setembro de 2023

ERICKSON, P.S., ANDERSON, J.L., KALSCHEUR, K.F., LASCANO, G.J., AKINS, M.S., HEINRICH, A.J., 2020. Symposium review: Strategies to improve the efficiency and profitability of heifer raising. J. Dairy Sci. 103, 5700–5708. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17419>

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. *Food Outlook – Biannual Report on Global Food Markets*. Rome: FAO, 2022. Disponível em: <https://www.fao.org>. Acesso em: 10 abr. 2025.

FARRELL, H. M. Jr.; JIMENEZ-FLORES, R.; BLECK, G. T.; BROWN, E. M.; BUTLER, J. E.; CREAMER, L. K.; HICKS, C. L.; HOLLAR, C. M.; NG-KWAI-HANG, K. F.; SWAISGOOD, H. E. Nomenclature of the proteins of cows' milk – sixth revision. Journal of Dairy Science, v. 87, n. 6, p. 1641–1674, 2004. Disponível em: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73319-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73319-6).

FAGAN, E. P. et al. Fatores ambientais e de manejo sobre a composição química do leite em granjas leiteiras do Estado do Paraná, Brasil. Acta Scientiarum Animal Sciences, v. 32, n. 3, p. 309-316, 2010.

FAGAN, E. P.; CABREIRA JOBIM, C.; JÚNIOR, M. C.; SIMILI DA SILVA, M.; DOS SANTOS, G. T. Fatores ambientais e de manejo sobre a composição química do leite em granjas leiteiras do Estado do Paraná, Brasil. Acta Scientiarum. Animal Sciences, v. 32, n. 3, p. 309-316, 2010. Universidade Estadual de Maringá. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3031/303126501012.pdf>

FERREIRA, M. D. A. et al. Síntese de proteína microbiana e concentrações de ureia em vacas alimentadas com dietas à base de palma forrageira e diferentes volumosos. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 38, n. 1, p. 159-165, 2009.

FERREIRA, M. A. et al. Palma forrageira e ureia na alimentação de vacas leiteiras. Editora UFRPE: Universidade Federal Rural de Recife, p. 40. 2011.

FURTADO, M. M.; LOURENÇO NETO, J. P. M. Tecnologia de queijos: manual técnico para produção industrial de queijos. 1.ed. São Paulo: Dipemar, 1994. 118 p

FLUCK, A.C.; SCHAFHÄUSER JÚNIOR, J.; ALFAYA JÚNIOR, H.; COSTA, O.A.D., FARIAS, G. D., SCHEIBLER, R. B., RIZZO, F. A., MANFRON, J. A. S., FIOREZE, V. I., RÖSLER, D. C. (2018). Composição química da forragem e do ensilado de azevém anual em função de diferentes tempos de secagem e estádios fenológicos. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 70(6), p.1979-1987.

FROTA, M. N. L. da; CARNEIRO, M. S. de S.; CARVALHO, G. M. C.; ARAUJO NETO, R. B. de. Palma forrageira na alimentação animal. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2015. 47 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1037123/1/Doc233.pdf>

GAMA, M.A.S; DE PAULA, T.A; VERAS, A.S.C; GUIDO, S.I; BORGES, C.A.V; ANTONIASSI, R.; LOPES, F.C.F; NEVES, M.L.M.W; FERREIRA, M.A. A substituição parcial da silagem de sorgo por cladódios de cacto (*Opuntia stricta*) em uma dieta suplementada com óleo de soja aumenta acentuadamente o teor de trans-11 18:1, cis-9, trans-11 CLA e 18:2 n-6 no leite de vaca. *J.Anim. Fisiol. Anima. Nutr.* 2021 , 105 , 232–246.

GARCÍA, H.F, ANDREU-COLL, L., CANO-LAMADRID, M., LLUCH, D.L, BARRACHINA, A.A.C, & MURCIA, P.L (2020). Valorização da figo da Índia [*Opuntia ficus-indica* (EU.)Moinho]: Composição Nutricional, Propriedades Funcionais e Aspectos Econômicos .10.5772/intechopen.9200 9.

GRUNWALDT, J.M., GUEVARA, J.C., & GRÜNWALDT, E.G (2015). Review of scientific and technical bibliography on the use of *Opuntia* spp. as forage and its animal validation. Journal of the Professional Association for Cactus Development.(17), 13-32.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Produção de leite. 2022 Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/leite/br> Acesso em: 18 out.2023

IDF. INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION. Yogurt: enumeration of characteristic microorganisms colony count technique at 37°C. IDF Standard 117A. Brussels: IDF, 1988.

JARDIM, A.M.R.F., SILVA, T.G.F., SOUZA, L.S.B., SOUZA, M.S., 2020. Interaction of agroecosystem intercropped with forage cactussorghum in the semi-arid environment: a review. Journal of Environmental Analysis and Progress 5, 069-087.

KIVRAK, Ş., KIVRAK, İ., & KARABABA, E. (2018). Analytical evaluation of phenolic compounds and minerals of *Opuntia robusta* J.C. Wendl. and *Opuntia ficusbarbarica* A. Berger. International Journal of Food Properties, 21(1), 229–241. 10.1080/10942912.2018.1451342

LANIER, J.S.; CORL, B.A. Challenges in enriching milk fat with polyunsaturated fatty acids. Journal of Animal Science and Biotechnology, v.6, n.26, 2015.

LEDIC, I. L.. Manual de bovinotecnia leiteira – alimentos: produção e fornecimento. São Paulo: Varela, 2002.

LUCATTO, J.N; MENDONÇA, S.N.T.G; DRUNKLER, D.A. Ácido linoleico conjugado: estrutura química, efeitos sobre a saúde humana e análise em lácteos. Revista Instituto Laticínios Cândido Tostes, Juiz de Fora, v.69, n.3, p.199- 211, mai/jun, 2014.

MANIACI, G.; PONTE, M.; GIOSUÈ, C.; GANNUSCIO, R.; PIPI, M.; GAGLIO, R.; BUSETTA, G.; DI GRIGOLI, A.; BONANNO, A.; ALABISO, M. Cladodes of *Opuntia ficus-indica* (L.) as a source of bioactive compounds in dairy products. *Journal of Dairy Science*, v. 107, n. 4, p. 1887–1902, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23847>.

MARTINEZ, C. J. Guia rápido para nutrição de vacas leiteiras. Milk Point, fevereiro de 2010. Disponível em: <Guia rápido para nutrição de vacas leiteiras | Produção de leite (milkpoint.com.br)>. Acesso em: 25 out. 2023.

Marques, O. F. C., Gomes, L. S. P., Mourthé, M. H. F., Braz, T. G. S., & Pires Neto, O. S. (2017). Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovino. *Cad. Ciênc. Agra.*, 9(1), 75-93.

MARTINS, P.C.; PICCINI, G.A.; KRNG, E.E.B.; MARTINS, C.E. E LOPES, F.C.F. Sustentabilidade ambiental, social e econômica da cadeia produtiva de leite. Brasília, DF. EMBRAPA. 2015. 432p.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G.V.; CARR, B.T. Sensory evaluation techniques. Boca Raton: CRC Press, 1999. 2 v. 387p.

MELO, A. C. et al. Alimentação de vacas leiteiras com palma forrageira associada a forragens fibrosas. *Acta Veterinaria Brasilica*, v. 1, n. 3, p. 75-80, 2006

MENDONÇA, A. H. Qualidade físico-química do leite cru resfriado: comparação de diferentes procedimentos e locais de coleta. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, Juiz de Fora, v. 56, n. 321, p. 276-281, 2001

MENEZES, D. R. et al. Palma forrageira na alimentação de ruminantes no semiárido brasileiro. *Revista Ciência Agronômica*, v. 33, n. 3, p. 83-91, 2002.

Microbiologia, higiene e controle de qualidade no processamento de leites e derivados. . Rio de Janeiro: Elsevier. . Acesso em: 07 maio 2025.

MORAES, G.S.O.; GUIM, A.; TABOSA, J.N.; CHAGAS, J.C.C.; ALMEIDA, M.P.; FERREIRA, M.A. Cactus [*Opuntia stricta* (Haw.) Haw] cladodes and corn silage: How do we maximize the performance of lactating dairy cows reared in semiarid regions? *Livest. Sci.* 2019, 221, 133–138.

MONTEIRO, C.C.F.; FERREIRA, M.A.; VÉRAS, S.C.A.; GUIDO, S.I.; ALMEIDA, M.P.; SILVA, R.C.; INÁCIO, JG (2018). Uma nova variedade de cacto para vacas leiteiras em áreas infestadas com *Dactylopius opuntiae*. *Ciência da Produção Animal*, 1(1), AG.10.1071/AN17256.

MÜHLBACH, P.R.F. Nutrição da vaca em lactação e a qualidade do leite. In: I Simpósio de Bovinocultura de Leite (09 e 10 setembro 2003). Anais... Chapecó: SC, p. 25-43, 2003

MÜHLBACH, P.R.F. Considerações sobre a otimização do consumo da vaca leiteira. In: VIEIRA, S.L.; FÉLIX, A.P.; SILVA, C.A. et al. Consumo e preferência alimentar dos animais domésticos. Londrina: Phytobiotics, 2010, cap.2, p.100-152.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition. Washington, DC: The National Academies Press, 2021

NEIVA, G. S.; MOTA, D. L.; BATISTA, A. M. V.; SOUSA-RODRIGUES, C. F. Mucous membrane of the rumen of ovine, fed with spineless forage cactus (*Opuntia ficus-indica* Mill): histochemical study by means of light microscopy. *Int. J. Morphol.*, v.24, p.723-728, 2006.

NEVES, A.L.A.; PEREIRA, L.G.R.; SANTOS, R.D.; VOLTOLINI, T.V.; ARAÚJO MORAES, S.A.; ARAGÃO, A.S.L.; COSTA, C.T.F. 2010. Plantio e uso da palma forrageira na alimentação de bovinos leiteiros no Semiárido brasileiro. 1ª ed. Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora. 8p.

NOGUEIRA, M. S.; SANTOS, E. M.; ARAÚJO, G. G. L. et al. Ensilagem de palma forrageira. In: SANTOS, E. M.; PARENTE, H. N.; OLIVEIRA, J. S. et al. Ensilagem de plantas forrageiras para o Semiárido. São Luís: Ed. EDUFMA, 2016. p. 249.

NUDDA, A.; BATTACONE, G.; BOAVENTURA NETO, O.; CANNAS, A.; FRANCESCONI, A.H.D.; ATZORI, A.S.; PULINA, G. Feeding strategies to design the fatty acid profile of sheep milk and cheese. *Revista Animal Feed Science and Technology*, v. 191, p. 2-19, 2014.

OLIVEIRA, V. S. de; FERREIRA, M. de A.; GUIM, A.; MODESTO, E. C.; LIMA, L. E.; SILVA, F. M. da. Substituição total do milho e parcial do feno de capim-tifton por palma forrageira em dietas para vacas em lactação. Consumo e digestibilidade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 36, n. 5, p. 1419-1425, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v36n5/27.pdf>>. Acesso em: 15 Out. 2023.

PIERDOMENICO, M.; GIARDULLO, P.; BRUNO, G.; BACCHETTA, L.; MACCIONI, O.; DEMURTAS, O. C.; SULLI, M.; DIRETTO, G.; ARCANGELI, C.; COLINI, F.; CHIAVARINI, S.; BENASSI, B. The mucilage from the *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. cladodes plays an anti-inflammatory role in the LPS-stimulated HepG2 cells: a combined in vitro and in silico approach. *Molecular Nutrition & Food Research*, v. 69, n. 3, e202400479, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/mnfr.202400479>.

PIRES, J.A.A.; GRUMMER, R.R. Specific fatty acids as metabolic modulators in the dairy cow. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.37, suplemento especial p.287-298, 2008.

RESENDE, M. F. S.; COSTA, H. H. S.; ANDRADE, E. H. P.; ACÚRCIO, L. B.; DRUMMOND, A. F.; CUNHA, A. F.; NUNES, A. C.; MOREIRA, J. L. S.; PENNA, C. F. A. M.; SOUZA, M. R. Queijo de minas artesanal da Serra da Canastra: influência da altitude das queijarias nas populações de bactérias ácido-lácticas. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, Belo Horizonte, v. 63, n. 6, p. 1567-1573, 2011. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-09352011000600039&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 20 out. 2023.

ROCHA, J.E.S. Palma forrageira no Nordeste do Brasil: estado da arte. Embrapa Caprinos e Ovinos, Sobral, Ceará, 40p., 2012. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/96744/1/DOC-106.pdf>>. Acesso em: 22 Nov. 2023.

ROCHA FILHO, R.R.; SANTOS, D.C.; VÉRAS, A.S.C.; SIQUEIRA, M.C.B.; NOVAES, L.P.; MORALUNA, R.; MONTEIRO, C.C.F.; FERREIRA, M.A. Can spineless forage cactus be the queen of forage crops in dryland areas? *J. Arid Environ.* 2021, 186, 140026.

RODRIGUES, A.M.; PITACAS, F.I.; REIS, C.M.G.; BLASCO, M. Nutritional value of *Opuntia ficus-indica* cladodes from portuguese ecotypes. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, v. 22, n. 1, p. 40-45, 2016.

RAMOS, A. O.; FERREIRA, M. D. A.; VÉRAS, A. S. C.; COSTA, S. B. D. M.; CONCEIÇÃO, M. G. D.; SILVA, E. C. D.; SALLA, L. E.; SOUZA, A. R. D. L. (2013). Diferentes fontes de fibra em dietas a

base de palma forrageira na alimentação de ovinos. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 14(4), 648-659.

SANTOS, M. V. F.; FERREIRA, M. A.; BATISTA, A. M. V. 2005. *Valor nutritivo e utilização da palma forrageira*, p. 143-162. In: Menezes, R.S.C., Simões, D.A. & Sampaio, E.V.S.B. (ed.). *A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso*. Ed. Universitária da UFPE, Recife.

SANTOS, D.C.; SANTOS, M.V.F.; FARIAS, I. et al. Desempenho produtivo de vacas 5/8 Holando/Zebu alimentadas com diferentes cultivares de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.30, n.1, p.12-17. 2001.

SANTOS, L. C. S. Silagens de capim-BRS Capiapu em diferentes idades de corte e aditivos. 2024. 48 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2024.

SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DE LATICÍNIOS NO ESTADO DE GOIÁS, SINDILEITE. Boas Práticas agropecuárias. Goiás, 2020. Disponível em: < https://sindileite.org.br/wp-content/uploads/2020/01/BPA_2020.pdf>. Acesso em: 10 de Setembro de 2023.

SILVA, C.C.F.; SANTOS, L.C. Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) como alternativa na alimentação de ruminantes. *Revista Eletrônica de Veterinária*, v. 8, n. 5, p. 1-13, 2007.

SILVA, T. G. F.; PRIMO, J. T. A.; MORAIS, J. E. F.; DINIZ, W. J. S.; SOUZA, C. A. A.; SILVA, M. C. (2015). Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. *Revista Caatinga*, 28, 2.

SILVA, R.C.M.A.; FERREIRA, M.A.; OLIVEIRA, J.C.V. et al. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* [Haw.] Haw.) spineless cactus as an option in crossbred dairy cattle diet. *South Afr. J. Anim. Sci.*, v.48, p.516-525, 2018.

SOARES, Camila; ROCHA JÚNIOR, Vicente Ribeiro; CALDEIRA, Luciana Albuquerque; BORGES, Lucas Daniel Alcântara; RUAS, José Reinaldo Mendes; RAMOS, Joyce Cipriana Pacheco; SANTOS, Wilton Felipe Siqueira; SILVA, Guilherme Henrique; RABELO, Walber de Oliveira. Quality of cheese produced with milk from cows fed forage palm with different forages. *Semina: Ciências Agrárias (Online)*, v. 40, p. 311, 2019.

SOARES, P.C.; GOUVEIA, L.N.F.; SILVA, T.G.P. et al. Metabolic dynamics of native lambs fed with Tifton 85 hay or Maniçoba hay associated with the spineless cactus. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.72, p.215-223, 2020.

THALER NETO, A.; FRANÇA, MARCIÉL. Impacto futuro de um adequado programa de melhoramento genético na qualidade composicional do leite. In: VI Simpósio Brasil Sul de Bovinocultura de Leite, 2017, Chapecó. *Anais do VI Simpósio Brasil Sul de Bovinocultura de Leite*. Chapecó: Nucleovet, 2017. p. 29-46

TRONCO, V.M. Manual para inspeção da qualidade do leite. 5ª ed. 208p. Santa Maria: Ed. UFSM, 2013.

ULBRICH, T.L.V.; SOUTHGATE, D.T.A. Coronary heart disease: seven dietary factors, *Lancet*, London, v, 338, n, 19, p, 985-992, 1991.

VIEIRA, R. A. M. Palma forrageira: importância e uso na alimentação animal. *Embrapa Gado de Leite. Circular Técnica*, n. 66, p. 1-12, 2006.

VOLTOLINI, T. V.; MIRANDA, J. E. C.; DE SANTOS, R. D.; DOS, MUNIZ, E. N.; FERNANDES, E. N.; MAGALHÃES, V. M. A. de. (2016). Palma forrageira na alimentação de bovinos leiteiros. EMBRAPA

WANDERLEY, W.L.; FERREIRA, M.D.A.; BATISTA, A.M.V.; VÉRAS, A.S.C.; BISPO, S.V.; SILVA, F.M.D.; SANTOS, V.L.F. Consumo, digestibilidade e parâmetros ruminais em ovinos recebendo silagens e fenos em associação à palma forrageira. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 13, n. 2, p. 444-456, 2012.

WANDERLEY, W. L.; FERREIRA, M. de A.; ANDRADE, D. K. B. de; VÉRAS, A. S. C.; FARIAS, I.; LIMA, L. E. de; et al. Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.) em substituição à silagem de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) na alimentação de vacas leiteiras. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 31, n. 1, p. 273–281, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000100030>.

WELTER, K. C.; MARTINS, C. M.; DE PALMA, A. S.; MARTINS, M. M.; DOS REIS, B. R.; SCHMIDT, B. L.; SARAN NETTO, A. Canola oil in lactating dairy cow diets reduces milk

saturated fatty acids and improves its omega-3 and oleic fatty acid content. *PLoS ONE*, v. 11, n. 3, e0151876, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151876>.

ZHE, L.; KROGH, U.; LAURIDSEN, C.; NIELSEN, M. O.; FANG, Z.; THEIL, P. K. Impact of dietary fat levels and fatty acid composition on milk fat synthesis in sows at peak lactation. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, v. 14, n. 1, p. 42, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00815-y>.

**4. CAPÍTULO 1: IMPACTOS SOBRE A QUALIDADE DO QUEIJO PRODUZIDO COM O LEITE
DE VACAS ALIMENTADAS COM DIFERENTES NÍVEIS DE PALMA FORRAGEIRA
ENSILADA COM O SORGO BIOMASSA BRS 716**

Isabella Martins Almeida¹...

*Corresponding Author: Vicente Ribeiro Rocha Júnior

Tel: 55-38-98825-7218, Fax: 55-38-3821-2756, E-mail: vicente.rocha@unimontes.br

¹ Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Montes Claros,
Janaúba, Minas Gerais, 39.448-524, Brasil

ORCID

Vicente Ribeiro Rocha Júnior

<https://orcid.org/0000-0002-0721-1981>

O queijo Minas Frescal é amplamente consumido no Brasil e sua qualidade é diretamente influenciada por fatores como a alimentação das vacas leiteiras. No semiárido, a palma forrageira é uma alternativa alimentar viável devido à sua adaptabilidade e alta produção de biomassa. No entanto, seu uso excessivo pode afetar a composição do leite e, consequentemente, a qualidade do queijo. Objetivou-se avaliar os efeitos da inclusão de palma forrageira ensilada com sorgo biomassa BRS 716 na dieta de vacas $\frac{3}{4}$ Holandês x Zebu sobre a qualidade do queijo Minas Frescal. O experimento foi conduzido em delineamento em quadrado latino 5x5, com cinco dietas experimentais (0%, 15%, 30%, 45% e 60% de palma forrageira), totalizando 10 vacas. As análises realizadas incluíram a avaliação da produção e composição do leite, características físico-químicas do queijo (gordura, proteína, umidade, cinzas, pH e acidez), textura, cisalhamento, perfil de ácidos graxos e aceitação sensorial. Os resultados indicaram que a inclusão de palma não influenciou significativamente os teores de gordura, sólidos totais, umidade, cinzas e textura do queijo. No entanto, houve redução no teor de ácido esteárico e aumento do índice de trombogenicidade com a inclusão de palma, impactando negativamente o perfil lipídico do queijo. No teste sensorial, o atributo sabor apresentou menor aceitação nos queijos com palma. Recomenda-se que a inclusão de palma forrageira seja limitada a 30%, garantindo viabilidade em regiões semiáridas sem comprometer a qualidade geral do queijo, mas com necessidade de ajustes para otimizar o perfil lipídico e sensorial.

Palavras-chave: perfil de ácidos graxos, composição química, textura, nutrição animal.

4.1 INTRODUÇÃO

A captação de leite no Brasil aumentou 3,3% nos três primeiros meses de 2024, totalizando 6,20 bilhões de litros no período, segundo dados da Pesquisa Trimestral do Leite, divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024). Esse crescimento tende a refletir diretamente na produção de derivados lácteos, especialmente os queijos, que desempenham papel fundamental no setor lácteo nacional. Em 2022, o país produziu aproximadamente 1,5 milhão de toneladas de queijo (IBGE, 2022), sendo o queijo Minas Frescal um dos mais consumidos, ocupando a terceira posição entre os queijos mais populares no Brasil. Por se tratar de um queijo fresco, está pronto para consumo imediato, sem necessidade de maturação (BRASIL, 1997; BRASIL, 2020). Seu consumo é favorecido pela textura macia, sabor suave e versatilidade (Santos *et al.*, 2018), além de seu papel cultural relevante, especialmente em regiões tradicionais da pecuária leiteira, como Minas Gerais.

A qualidade do queijo Minas frescal está, diretamente, relacionada à qualidade do leite utilizado em sua fabricação, sendo este influenciado por fatores como a dieta das vacas leiteiras, o manejo do rebanho e as condições higiênico-sanitárias da ordenha (Paiva *et al.*, 2012). Já a composição físico-química e microbiológica do leite pode variar conforme aspectos nutricionais, ambientais e sanitários (Guerreiro *et al.*, 2005; Coelho *et al.*, 2014; Vargas *et al.*, 2014). Dentre esses, a nutrição animal é um dos principais determinantes, interferindo na eficiência produtiva e na composição do leite e seus derivados. Para que a produção seja eficiente e economicamente viável, a dieta das vacas deve ser balanceada, suprimindo adequadamente suas necessidades nutricionais em energia, proteínas, minerais e vitaminas (VITALLTECH, 2017).

No contexto da produção leiteira no semiárido brasileiro, a busca por alternativas alimentares sustentáveis tem sido desafiadora, principalmente devido à escassez de forragens de qualidade durante longos períodos secos, causados pela irregularidade das chuvas (Fluck *et al.*, 2018). Nesse cenário, a palma forrageira (*Opuntia spp.* e *Nopalea spp.*) destaca-se, devido à sua tolerância às condições adversas e elevado rendimento de biomassa, sendo amplamente utilizada como volumoso para ruminantes durante os períodos de seca (Cavalcante *et al.*, 2014). No entanto, seu uso exclusivo não é

recomendado, pois apresenta alto teor de carboidratos não fibrosos e baixa concentração de fibras estruturais, o que pode causar distúrbios metabólicos e reduzir o teor de gordura do leite (Leite *et al.*, 2018). Para contornar essas limitações, recomenda-se a associação da palma com outras fontes fibrosas e proteicas, como silagens e fenos, a fim de garantir uma dieta nutricionalmente equilibrada (Brito *et al.*, 2020).

A ensilagem da palma surge como alternativa promissora para viabilizar seu uso contínuo na dieta animal, permitindo a conservação e o fornecimento regular durante todo o ano (Cordeiro *et al.*, 2023; Alencar *et al.*, 2024). Contudo, seu baixo teor de matéria seca (100 a 150 g kg⁻¹) pode comprometer a fermentação adequada e a estabilidade da silagem (Alencar *et al.*, 2024). A presença de mucilagem nos cladódios, rica em hidrocolóides, pode favorecer a fermentação ao formar um gel emulsificante que estabiliza o material ensilado (Nogueira *et al.*, 2016). Desta forma, a combinação da palma com outros volumosos, como o sorgo biomassa BRS 716, pode ser uma estratégia eficiente para melhorar o valor nutricional da silagem e otimizar o desempenho dos animais.

Além de favorecer a produção, a nutrição adequada dos animais influencia diretamente, a qualidade nutricional do leite e seus derivados, especialmente o perfil de ácidos graxos. Estratégias nutricionais têm sido investigadas com o objetivo de aumentar a concentração de ácidos graxos insaturados no leite, em especial o ácido linoleico conjugado (CLA), destacando-se o isômero C18:2 cis-9 trans-11 (ácido rumênico) e seu precursor, o ácido vaccênico (C18:1 trans-11), ambos associados a potenciais benefícios à saúde humana (García *et al.*, 2010; Lanier & Corl, 2015; Morthé *et al.*, 2015). O CLA apresenta propriedades imunomoduladoras, anticarcinogênicas e capacidade de reduzir a deposição de gordura corporal (Lucatto *et al.*, 2014). A palma forrageira, por sua vez, apresenta perfil lipídico de interesse nutricional, com presença de ácido linoleico (C18:2) e, nos cladódios jovens, predominância de ácido palmítico (C16:0) (Andreu-Coll *et al.*, 2019).

Dessa forma, a inclusão da palma na dieta das vacas pode modificar a composição lipídica do leite e do queijo, tornando-os alimentos mais nutritivos e benéficos à saúde humana. Os estudos de Nudda *et al.* (2014) indicam que o processamento do leite, especialmente durante a fabricação de queijos, não promove alterações significativas no perfil de ácidos graxos, reforçando que a qualidade lipídica dos derivados lácteos está fortemente relacionada à dieta dos animais. Nesse contexto, a inclusão de palma forrageira

na alimentação de vacas em lactação pode contribuir não apenas para a eficiência produtiva em regiões semiáridas, mas também para a obtenção de queijos com maior valor nutricional. Assim, objetivou-se no presente trabalho avaliar o nível de inclusão da palma forrageira na ensilagem com o sorgo biomassa BRS 716 por meio da avaliação da qualidade do queijo Minas Frescal produzido.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Aprovação do comitê de ética

Todosos procedimentos envolvendo animais foram aprovados pelo comitê institucional para uso de animais da Universidade Estadual de Montes Claros (número de protocolo 007/2022 CEUA/Unimontes).

4.2.2 Local da pesquisa e clima

O experimento foi realizado na Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES) - Campus Janaúba. A cidade de Janaúba está localizada no Norte de Minas Gerais, Brasil, suas coordenadas geográficas são 15° 48' 32'' de latitude e 43° 19' 3'' de longitude, na altitude de 533 m, com chuvas de verão e períodos secos com cerca de 10 meses ao ano, precipitação média inferior a 800mm, temperatura anual de 27°C bem definidos. O clima é tropical mesotérmico, quase megatérmico devido à altitude, subúmido e semiárido, com chuvas irregulares levando a longos períodos de seca (Álvarez *et al.*, 2014; Köppen 1948).

4.2.3 Dietas Experimentais (Tratamentos)

O estudo incluiu 10 vacas ¾ Holandês x Zebu, com 80 ± 10 dias de lactação. Foram utilizadas cinco dietas experimentais e os tratamentos consistiram em: Silagem de sorgo Biomassa BRS 716 com 0% de palma forrageira (controle); Tratamento 2 – Silagem de sorgo Biomassa BRS 716 com 15% de palma forrageira; Tratamento 3 – Silagem de sorgo Biomassa

BRS 716 com 30% de palma forrageira; Tratamento 4 – Silagem de sorgo Biomassa BRS 716 com 45% palma forrageira; Tratamento 5 - Silagem de sorgo Biomassa BRS 716 com 60% palma forrageira; as proporções de sorgo biomassa e palma foram estabelecidas na base da matéria natural. O delineamento experimental foi em dois quadrados latinos 5 x 5, simultâneos, compostos, cada um, por cinco animais, cinco tratamentos e cinco períodos experimentais. Os animais foram mantidos em área coberta, dentro de baias individuais dotadas de cocho e bebedouro.

O sorgo foi processado em uma ensiladeira modelo JF-90, com tamanho de partícula regulado para 2 cm. A palma forrageira foi processada em fatiadora forrageira MC1N (Laboremus), regulada para resultar em corte de 2 a 5 cm sem que ocorra maceração. No momento da ensilagem dos tratamentos contendo palma forrageira, todo material foi pesado em balança mecânica garantindo a proporção correta da gramínea (Sorgo Biomassa) e da palma forrageira, de acordo com cada tratamento.

As dietas foram formuladas para serem isoproteicas, para atender a demanda de vacas mestiças em lactação com 550 kg de peso corporal e produção média de 15 kg de leite dia (NRC, 2021). Ureia foi utilizada para correção da proteína bruta (PB) dos volumosos e um mesmo concentrado foi usado para as cinco dietas experimentais. A relação volumoso:concentrado, nas cinco dietas experimentais, foi de aproximadamente 75:25 na base da matéria seca.

As dietas foram fornecidas às vacas duas vezes por dia, às 08:00 h e às 14:00 h, em sistema de dieta completa, homogeneizada no cocho. Os alimentos foram pesados individualmente, duas vezes ao dia e a quantidade fornecida foi calculada com base nas sobras, que representaram 5% do total de matéria seca fornecida. As sobras foram pesadas diariamente. As vacas foram ordenhadas com ordenhadeira mecânica duas vezes ao dia, às 7:00 h e às 15:00 h e foi utilizada a presença do bezerro para o estímulo a descida do leite.

A composição químico-bromatológica dos alimentos foi determinada seguindo as recomendações descritas por Detmann *et al.* (2021). A proporção dos ingredientes e a composição química das dietas experimentais podem ser verificadas na Tabela 1.

Tabela 1. Proporção dos ingredientes e composição química das dietas experimentais.

Item	Inclusão palma forrageira (MN)				
	0%	15%	30%	45%	60%
<i>Proporção dos ingredientes (g/Kg MS⁻¹)</i>					
Sorgo BRS 716	741,85	696,94	641,73	571,6	480,12
Palma Forrageira	0	44,26	98,97	168,3	259,18
Milho moído	105,6	105,6	105,6	105,6	105,6
Farelo soja	134,4	134,4	134,4	134,4	134,4
Ureia/sulfato de amônio (9:1)	8,15	8,8	9,3	10,1	10,7
Mistura mineral	10	10	10	10	10
<i>Composição química da dieta (g/Kg de MS)</i>					
MS ^A	459,2	451,44	441,64	429,34	412,89
MM ^B	76,15	80,5	85,9	92,72	101,7
PB ^C	134,34	135,73	136,62	138,2	139,03
EE ^D	29,62	28,94	28,11	27,05	25,68
CNF ^E	336,69	348,88	364,05	383,22	408,48
FDNcP ^F	437,97	421,89	402,18	377,11	344,5
FDNi ^G	194,79	189,17	182,3	173,56	162,21

^AMatéria Seca; ^BMistura Mineral, conteúdo por kg do produto: cálcio (128 g min), fósforo (100 g min), sódio (120 g min), magnésio (15 g), enxofre (33 g), cobalto (135 mg), ferro (938 mg), iodo (160 mg), manganês (1800 mg), selênio (34 mg), zinco (5760 mg), flúor (1000); ^CProteína Bruta; ^D Extrato Etéreo; ^ECNF=Carboidrato não fibroso; ^FFDNcP = Fibra em detergente neutro corrigida para cinza e proteína; ^G FDNi = Fibra em detergente neutro indigestível.

4.2.4 Avaliação da qualidade do leite

O experimento foi dividido em cinco períodos experimentais de 18 dias, sendo 14 dias iniciais para a adaptação das vacas à dieta experimental e os últimos 4 dias para a coleta das amostras e dos dados, totalizando 90 dias de experimento. Durante os quatro últimos dias de cada período experimental, foram registradas as produções de leite por vaca, e calculadas as produções de leite corrigidas para 3,5% de gordura. Também nos últimos quatro dias de cada período foram coletadas amostras de leite de cada animal, sendo feito um *pool* das amostras do leite da ordenha da manhã e da tarde, proporcionalmente à quantidade produzida. Em um frasco contendo o conservante azidiol foram adicionados e homogeneizados 50 mL das amostras de leite, para posterior análise de contagem padrão em placas (CPP). Enquanto para a contagem de células somáticas (CCS) e composição química (teores de gordura, proteína, lactose e sólidos totais), as amostras foram acondicionadas em frascos contendo bronopol.

4.2.5 Processamento do queijo tipo Minas frescal

O queijo Minas Frescal foi produzido de acordo com a técnica recomendada por Furtado & Lourenço Neto (1994). Para a fabricação do queijo, foram utilizados 5,5 litros de leite para cada formulação experimental, processados separadamente. O leite foi inicialmente filtrado, pesado e submetido à pasteurização lenta, conforme boas práticas de fabricação, aquecido a 65 °C por 30 minutos. Após a pasteurização, o leite foi resfriado até 36 °C, temperatura na qual foram adicionados cloreto de cálcio 40% (2,2 mL para 5,5 L), previamente diluído em água filtrada, e coalho líquido (5 ml para 5,5 L), também diluído em igual volume de água. A salga foi realizada por adição direta de sal refinado branco à coalhada, na proporção de 0,7% (equivalente a 38,5 g para 5,5 L de leite); após um tempo de 50 a 70 minutos ocorreu a coagulação do leite e o corte da massa foi realizado com uma lira inox em cubos de 1,5 a 2 cm², intercalando a mexedura e o repouso para promover a dessoragem. Em seguida a massa foi colhida e colocada em formas plásticas. Os queijos foram resfriados numa temperatura de 4°C por aproximadamente 12 horas, em seguida os queijos foram retirados das formas, embalados e resfriados para posteriores análises de composição química, microbiológica, textura, sensorial e ácidos graxos.

4.2.6 Análises físico-químicas do queijo

Para determinação das características físico-químicas do queijo, foram realizadas as análises de acidez titulável expressa em porcentagem de ácido láctico, realizada com o uso da solução indicadora de fenolftaleína (1%); o pH foi determinado com auxílio de potenciômetro digital (Phox p1000), que mede a concentração de íons hidrogênio na amostra, caracterizando o queijo como ácido ou básico. A composição química centesimal foi avaliada pela determinação dos teores de gordura pelo método butirométrico, proteína utilizando o método de Kjeldahl; resíduo mineral fixo, pela eliminação da matéria orgânica à temperatura de 550°C; sólidos totais, através da evaporação de água da amostra com utilização da estufa a 105 °C; umidade foi determinada pela subtração dos sólidos totais (BRASIL, 2006); e atividade de água (Aw), por meio de medidor de Aw, modelo Aqua Lab®.

A textura e cisalhamento das amostras de queijo foram determinados utilizando um Texturômetro – Modelo TAXT da Stabic Micro Systems, com auxílio de um software que fornece diretamente a força de corte e força de cisalhamento. Foi utilizada uma célula do tipo Probe Warner Bratzler, com uma velocidade aplicada de 3 mm/segundo.

4.2.7 Avaliação do perfil de ácidos graxos

Para determinação do perfil de ácidos graxos, amostras transmetiladas foram analisadas em cromatógrafo a gás, modelo Focus CG-Finnigan, com detector de ionização de chama, coluna capilar CP-Sil 88 (Varian), com 100 µm de comprimento por 0,25 µm de diâmetro interno e 0,20 µm de espessura do filme. Foi utilizado o hidrogênio como gás de arraste, numa vazão de 1,8mL/min. O programa de temperatura do forno inicial foi de 70 °C, tempo de espera 4 min, 175 °C (13 °C/min) tempo de espera 27 min, 215 °C (4 °C/min) tempo de espera 9 min. e, em seguida aumentando 7 °C/min. até 230 °C, permanecendo por 5min., totalizando 65 min. A temperatura do vaporizador foi de 250 °C e a do detector de 300 °C. Uma alíquota de 1 µL do extrato esterificado foi injetada no cromatógrafo e a identificação dos ácidos graxos, feita pela comparação dos tempos de retenção e as percentagens dos ácidos graxos, os dados foram obtidos através do software – Chromquest 4.1 (Thermo Electron, Italy). Os ácidos graxos foram identificados por comparação dos tempos de retenção dos ésteres metílicos das amostras com padrões de ácidos graxos. Os ácidos graxos foram quantificados por normalização das áreas dos ésteres metílicos. Os resultados dos ácidos graxos foram expressos em g/100g de gordura.

A qualidade nutricional da fração lipídica do queijo foi avaliada pelos dados de composição em ácidos graxos, empregando-se os seguintes cálculos: Índice de Aterogenicidade (IA) = $\{(C12:0 + (4 \times C14:0) + C16:0)\} / (\Sigma \text{ácidos graxos monoinsaturados} + \Sigma \omega6 + \Sigma \omega3)$ e Índice de Trombogenicidade (IT) = $(C14:0 + C16:0 + C18:0) / \{(0,5 \times \Sigma \text{Ácidos graxos monoinsaturados}) + (0,5 \times \Sigma \omega6 + (3 \times \Sigma \omega3) + (\Sigma \omega3 / \Sigma \omega6))\}$, segundo Ulbricthe Southage (1991); razão entre ácidos graxos hipocolesterolêmicos e hipercolesterolêmicos (HH) = $(\text{monoinsaturado} + \text{polinsaturado}) / (C14:0 + C16:0)$ e Ácidos Graxos Desejáveis (AGD) = $(\text{insaturados} + C18:0)$ segundo Costa et al. (2008); razão entre ácidos graxos polinsaturados e ácidos graxos saturados e razão entre $\omega6$ e $\omega3$ (Costa et al. 2008).

4.2.8 Análise sensorial do queijo

Previamente à avaliação sensorial, as amostras dos queijos foram submetidas a análises microbiológicas, que demonstraram que os mesmos estavam aptos ao consumo.

A análise sensorial do queijo Minas frescal foi realizada de acordo com o teste de aceitação e ordenação de preferência proposto por Meilgaard *et al.* (1999), com julgadores não treinados para avaliação dos queijos. As análises aconteceram nos cinco períodos experimentais, com 100 provadores. As amostras dos queijos foram cortadas em cubos, com peso em torno de 25g e identificadas com códigos numéricos, em copinhos descartáveis. Os testes aconteceram simultaneamente com todas as amostras servidas com seus respectivos códigos, e foram classificadas pelos provadores, que deram notas de 1, para a amostra menos aceita e 9 para a mais aceita, para a avaliação de aceitação em termos de textura, sabor e impressão global dos queijos.

4.2.9 Análise de componentes principais

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada com o objetivo de melhor compreender a natureza da relação entre as variáveis estudadas e as variáveis independentes.

4.2.10 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, com o software estatístico SISVAR (Ferreira 2011) seguindo o modelo estatístico descrito a seguir:

$$Y_{k(ij)} = \mu + P_i + A_j + T_{k(ij)} + e_{k(ij)}$$

Em que:

$Y_{k(ij)}$ = A observação referente ao tratamento “k”, dentro do período “i” e animal “j”;

μ = Uma constante associada a todas as observações;

P_i = Efeito do período “i”, com $i = 1, 2, 3, 4$ e 5 ;

A_j = Efeito animal “j”, com $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ e 10 ;

$T_{k(ij)}$ = Efeito do tratamento “k”, com “k” = $1, 2, 3, 4$ e 5 ;

$ek(ij)$ = erro experimental associado a todas as observações ($Yk(ij)$), independente, que por hipótese tem distribuição normal com media zero e variância δ^2 . Os tratamentos ($Tk(ij)$) foram considerados como efeito fixo; animais (Aj), período experimental (Pi), o termo de erro ($eijk$) são efeitos aleatórios.

As médias foram avaliadas por análise de regressão em função dos níveis de palma nas dietas, considerando-se $\alpha = 0,05$.

Na análise sensorial, quando significativos os dados de ordenação de preferência das amostras de queijo, os mesmos foram submetidos à análise da diferença mínima significativa, tendo-se considerado $\alpha = 0,05$. Para análise exploratória dos dados por meio da análise de componentes principais (ACP) foi utilizado o software PAST® 4.03 (Hammer *et al.*, 2001).

4.3 RESULTADOS

Os níveis crescentes de palma forrageira na ensilagem com o sorgo biomassa BRS 716 na dieta de vacas $\frac{3}{4}$ Holandês x Zebu não influenciaram as concentrações de gordura, proteína e sólidos totais do leite, apresentando valores médios de 3,56% para gordura, 2,76% para proteína e 11,90% para sólidos totais. A produção de leite corrigida para 3,5% de gordura não apresentou diferenças ($P>0,05$) entre os níveis de inclusão de palma forrageira na dieta, com média de 13,57 kg/dia. A contagem de células somáticas (CCS) e a contagem padrão em placas (CPP) no leite não foram influenciadas ($P>0,05$) pelos tratamentos, apresentando valores médios de 94.300 CS/mL e 3.066 UFC/mL, respectivamente. A lactose também não foi influenciada ($P>0,05$) pelos tratamentos (Tabela 2).

Tabela 2. Produção, composição química, contagem de células somáticas e contagem padrão em placas do leite de vacas alimentadas com níveis crescentes de palma forrageira na ensilagem com sorgo biomassa BRS 716

Item	Inclusão de palma forrageira (%MN)					EPM	P-valor Dieta
	0	15	30	45	60		
Produção de leite corrigida 3,5 %G	12,99	14,16	14,30	13,28	13,16	0,42	0,10
Gordura (%)	3,45	3,61	3,54	3,70	3,54	0,15	0,83
Proteína (%)	2,68	2,77	2,77	2,76	2,83	0,04	0,25
Lactose (%)	4,54	4,58	4,55	4,58	4,48	0,27	0,05
Sólidos totais (%)	11,71	11,99	11,90	12,05	11,86	0,18	0,73
CCS ^A (X1000 CS/mL)	73,63	62,20	170,70	68,00	127,00	38,72	0,23
CCP ^B (X1000 UFC/mL)	24,60	18,10	36,10	30,10	44,40	8,29	0,22

^ACCS= contagem de células somáticas; ^BCPP= contagem padrão por placas.

Os níveis crescentes de palma forrageira na ensilagem com o sorgo biomassa BRS 716 na dieta não influenciou ($P>0,05$) a composição físico-química do queijo em relação a atividade de água (A_w) e teores de cinzas, gordura, gordura no extrato seco (GES), sólidos totais e umidade, textura e cisalhamento. Verificou-se efeito ($P<0,05$) das dietas para acidez titulável, pH e proteína, sendo os dois últimos com comportamento quadrático e a acidez titulável com comportamento linear crescente em função do aumento dos níveis de palma na dieta. A atividade de água (A_w) avaliada no queijo Minas frescal apresentou média geral de 0,98, caracterizando o queijo com maior risco de perecibilidade. O valor médio de acidez titulável foi de 0,24 (g/100g) com tendência de aumento linear com os níveis de palma na dieta. Para as análises de proteínas a variação foi de 6,38 a 8,56 g/100g, com comportamento quadrático. O teor médio de gordura no extrato seco foi de 47,74 g/100g e as cinzas 13,86 g/100g. Já os sólidos totais foram de 32,89 g/100g, e a umidade média dos queijos de 67,05 g/100g. O perfil de textura e cisalhamento do queijo não foram significativamente influenciados pela inclusão da palma forrageira na dieta dos animais ($P>0,05$) (Tabela 3).

Tabela 3. Propriedades Composição físico-química do queijo Minas Frescal produzido com leite de vacas alimentadas com níveis crescentes de palma forrageira na ensilagem com sorgo biomassa BRS 716

Parâmetros	Dietas experimentais					Média Geral	EPM ^D	P-valor		
	0	15	30	45	60			Dieta	Linear	Quad
Acidez titulável	0,22	0,23	0,23	0,25	0,30	-	0,02	0,02	0,02	0,12
AW	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	2,94	1	0,99	0,99
Cinzas, g/100g	13,73	13,71	13,8	14,09	13,98	13,86	0,58	0,99	0,64	0,98
Gordura, g/100g	14,23	17,13	15,62	14,34	15,71	15,4	1,18	0,44	0,96	0,53
GES*, g/100g	48,2	49,81	44,67	45,73	50,30	47,74	5,1	0,91	0,99	0,53
pH	6,79	6,68	6,86	6,78	6,66	-	0,02	0	0,15	0,01
Proteína, g/100g	7,13	8,472	6,38	6,05	8,56	-	0,09	0	0,17	0
Sólidos, g/100g	30,59	34,024	34,71	31,27	33,86	67,05	2,15	0,59	0,59	0,48
Umidade, g/100g	69,40	65,71	65,28	68,72	66,13	32,89	2,11	0,58	0,62	0,47
Textura (g)	89,42	106,34	96,60	92,02	97,42	93,9	9,62	0,77	0,96	0,63
Cisalhamento(g)	136,98	133,22	138,48	116,16	105,72	136,45	19,65	0,71	0,22	0,59

¹y = 0,0011x + 0,2108 ($R^2 = 0,6664$); ²y = -0,00009x² + 0,0047x + 6,7404 ($R^2 = 0,2953$);

³y = 0,0013x² - 0,0751x + 7,8163 ($R^2 = 0,2255$); ^A A_w = atividade de água; ^BGES = gordura no extrato seco; ^C erro padrão da média. ^D erro padrão da média

Com relação ao perfil de ácidos graxos do queijo verificou-se efeito ($P<0,05$) das dietas nos ácidos graxos C4:0, C13:0 iso, C16:0, C17:0, C18:0, C21:0, C20:1. Não houve ($P>0,05$) efeito das dietas para as concentrações dos demais ácidos graxos saturados, monoinsaturados e poli-insaturados. O teor médio de ácidos graxos saturados (Σ AGS) foi de 72,63 mg/g, de monoinsaturados (Σ AGMI) de 25,02mg/g e de (Σ AGPI) de 2,06 mg/g, sem

efeito significativo das dietas. Dentre os AGS, o C16:0 foi o mais abundante, apresentando aumento linear com a inclusão de palma, já o C18:0 diminuiu com a inclusão de palma. O C4:0 apresentou efeito quadrático ($p=0,0051$) (Tabela 4).

Tabela 4. Perfil de ácidos graxos da gordura do queijo Minas Frescal produzido com leite de vacas alimentadas com níveis crescentes de palma forrageira na ensilagem com sorgo biomassa BRS 716

Ácidos Graxos	Dietas experimentais					Média Geral	EPM ^D	P-valor		
	0	15	30	45	60			Dieta	Linear	Quad
Σ AGS ^A mg/g	70,19	71,67	71,50	74,31	74,54	72,63	1,27	0,13	0,01	0,92
C4:0	2,91	2,91	2,84	3,12	3,37	-	0,11	0,02	0,00	0,00
C6:0	1,86	1,85	1,84	2,08	2,12	1,96	0,08	0,05	0,01	0,24
C8:0	1,08	1,17	1,10	1,23	1,28	1,17	0,04	0,05	0,01	0,47
C10:0	2,34	2,67	2,43	2,61	2,75	2,65	0,160	0,40	0,16	0,94
C11:0	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,003	0,30	0,39	0,88
C12:0	2,75	3,14	2,83	3,02	3,19	3,07	0,161	0,30	0,17	0,90
C13:0 iso	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	-	0,002	0,01	0,00	0,02
C13:0 anteiso	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,009	0,92	0,69	0,65
C13:0	0,11	0,12	0,11	0,11	0,10	0,11	0,008	0,57	0,16	0,54
C14:0 iso	0,22	0,21	0,21	0,24	0,21	0,22	0,010	0,44	0,69	0,67
C14:0	10,99	11,97	11,50	12,03	12,18	11,88	0,362	0,19	0,05	0,64
C15:0 anteiso	0,68	0,70	0,68	0,623	0,59	0,65	0,008	0	0	0,41
C15:0	1,19	1,21	1,20	1,14	1,11	1,19	0,032	0,22	0,05	0,23
C16:0 iso	0,36	0,34	0,35	0,37	0,34	0,36	0,016	0,66	0,68	0,78
C16:0	33,50	34,71	35,44	37,96	37,81	-	0,553	0,00	0	0,67
C17:0 iso	0,37	0,35	0,37	0,32	0,32	0,33	0,009	0,10	0,00	0,28
C17:0	0,82	0,78	0,81	0,77	0,72	-	0,0207	0,03	0,00	0,30
C18:0	10,07	8,68	8,92	7,90	7,69	-	0,355	0,04	0	0,41
C20:0	0,17	0,152	0,15	0,14	0,13	0,15	0,003	0	0	0,48
C21:0	0,032	0,03	0,03	0,02	0,02	-	0,003	0,05	0,00	0,88
C22:0	0,024	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,006	0,24	0,99	0,10
C23:0	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,004	0,47	0,22	0,64
C24:0	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,001	0	0	0,16
Σ AGMI ^B mg/g	27,42	26,03	26,26	23,58	23,44	25,02	1,200	0,14	0,01	0,92
C10:1	0,22	0,3	0,28	0,31	0,31	0,30	0,017	0,33	0,12	0,99
C12:1	0,02	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,09	0,94	0,77	0,57
C14:1c9	0,98	1,06	1,012	1,07	1,07	1	0,15	0,99	0,70	0,90
C16:1c9	1,92	1,96	1,99	1,95	1,99	1,96	0,15	0,99	0,79	0,89
C17:1	0,30	0,28	0,30	0,28	0,27	0,27	0,02	0,87	0,39	0,74
C18:1 trans11	2,13	2,09	2,06	1,92	1,84	1,92	0,09	0,22	0,03	0,62
C18:1 c9	20,70	19,32	19,54	17,21	16,98	18,41	0,95	0,07	0,01	0,94
C18:1 c11	0,63	0,58	0,62	0,52	0,56	0,54	0,05	0,59	0,27	0,88
C18:1 c12	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,004	0,30	0,52	0,61
C18:1 c13	0,04	0,04	0,05	0,03	0,04	0,04	0,009	0,82	0,95	0,95

C18:1 t16	0,09	0,09	0,09	0,08	0,09	0,09	0,004	0,53	0,31	0,21
C18:1 c15	0,09	0,07	0,08	0,72	0,07	0,07	0,008	0,33	0,09	0,80
C20:1	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09	-	0,003	0,00	0	0,22
C24:1	0,01	0,12	0,01	0,01	0,01	0,00	0,001	0,32	0,05	0,72
Σ AGPI ^C mg/g	2,35	2,01	2,20	1,76	1,97	2,06	0,17	0,21	0,08	0,05
C18:3 n6	0,02	0,02	0,02	0,12	0,01	0,01	0,002	0,66	0,29	0,99
C18:3 n3 linolênico	0,20	0,20	0,19	0,15	0,16	0,17	0,004	0	0	0,89
C18:2 c9t11 (CLA)	0,65	0,62	0,62	0,57	0,51	0,60	0,054	0,48	0,10	0,58
C18:2 c9c12	1,26	1,21	1,17	1,02	1,09	1,10	0,058	0,08	0	0,19
C20:2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,004	0,99	0,75	0,79
C20:3 n6	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,003	0,14	0,05	0,76
C20:4 n6	0,08	0,80	0,08	0,07	0,08	0,08	0,006	0,71	0,30	0,48
C22:2	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,004	0,46	0,33	0,72
C20:5 n3	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,007	0,92	0,79	0,99
C22:5	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,003	0,16	0,19	0,26

^AÁcidos graxos saturados; ^BÁcidos graxos monoinsaturados; ^CÁcidos graxos poli-insaturados; ^Derro padrão da média. $y = 0,0757x + 70,172$ ($R^2 = 0,8897$); $y = 0,0003x^2 - 0,009x + 2,9273$ ($R^2 = 0,9521$); $y = 0,005x + 1,8016$; ($R^2 = 0,7476$); $y = 0,0031x + 1,0824$ ($R^2 = 0,7286$); $y = -0,0002x + 0,1036$ ($R^2 = 0,6882$); $y = -0,0017x + 0,702$; ($R^2 = 0,8454$); $y = 79,107x + 33513$ ($R^2 = 0,922$); $y = -0,0009x + 0,3728$ ($R^2 = 0,7605$); $y = -3E-05x^2 + 0,0001x + 0,814$ ($R^2 = 0,8267$); $y = -0,0369x + 9,756$ ($R^2 = 0,8567$); $y = -0,0006x + 0,168$ ($R^2 = 0,9012$); $y = -0,0003x + 0,0324$ ($R^2 = 0,8762$); $y = -0,0003x + 0,06$ ($R^2 = 0,9091$); $y = -0,0692x + 27,419$ ($R^2 = 0,8763$); $y = -0,005x + 2,1588$ ($R^2 = 0,9322$); $y = -0,0635x + 20,654$ ($R^2 = 0,888$); $y = -0,0003x + 0,1092$ ($R^2 = 0,9032$); $y = 0,0001x^2 - 0,0156x + 2,3279$ ($R^2 = 0,5857$); $y = -0,0009x + 0,2088$ ($R^2 = 0,8532$); $y = -0,0035x + 1,2552$ ($R^2 = 0,7851$); $y = -0,0002x + 0,0476$ ($R^2 = 0,5714$).

Os resultados do índice de aterogenicidade (IA), índice de trombogenecidade (IT), relação hipo/hipercolesterolêmicos (h/H), ácidos graxos desejáveis (AGD, relação de ácidos graxos poli-insaturados/ácidos graxos saturados (AGP/AGS), somatório de ácidos graxos $\omega 6$ e relação $\omega 6/ \omega 3$ estão apresentados na tabela 5. A média geral para IA foi de 3,07, os AGD e a relação de AGPI/AGS apresentaram médias de 35,68 e 0,02, respectivamente. O somatório de ácidos graxos $\omega 6$, e a relação $\omega 6/ \omega 3$ tiveram médias gerais de 0,13 e 0,71, respectivamente. O IT aumentou linearmente ($P=0,002$) e a porcentagem de $\omega 3$ diminuiu linearmente nos queijos ($P=0,000$), com o aumento dos níveis de palma na dieta.

Tabela 5. Índice de aterogenicidade (IA), Índice de trombogenecidade (IT), relação hipo/hipercolesterolêmicos (h/H), ácidos graxos desejáveis (AGD, relação de ácidos graxos poli-insaturados/ácidos graxos saturados (AGP/AGS), somatório de ácidos graxos $\omega 6$ e relação $\omega 6/ \omega 3$ do queijo Minas Frescal produzido com leite de vacas alimentadas com níveis crescentes de palma forrageira na ensilagem com sorgo biomassa BRS 716

Índices	Diets experimentais					Média Geral	EPM ^A	P-valor		
	0	15	30	45	60			Dieta	Linear	Quad
IA	2,86	2,802	2,88	3,174	3,464	3,07	0,2218	0,2408	0,044	0,293
IT	3,49	3,59	3,72	4,21	4,31	-	0,1761	0,0199	0,002	0,605
h/H	0,69	0,60	0,61	0,50	0,96	0,56	0,2509	0,7451	0,576	0,317
AGD	39,81	31,73	36,98	33,69	31,92	35,68	2,6259	0,1996	0,122	0,686
AGPI/AGS	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,0026	0,1876	0,183	0,441
Ômega 6	0,67	0,75	0,75	0,70	0,64	0,13	0,0928	0,8946	0,71	0,375
Ômega 3	0,22	0,22	0,21	0,17	0,18	-	0,006	0,0001	0	0,864

0,68 0,60 0,64 0,71 0,73 0,71 0,0558 0,5078 0,233 0,326

^Aerro padrão da média. $y = 0,0105x + 2,72$ ($R^2 = 0,7994$); $y = 0,015x + 3,4164$ ($R^2 = 0,919$); $y = -0,0009x + 0,2284$ ($R^2 = 0,7902$)

No teste de aceitação das amostras de queijo Minas frescal pelas dietas experimentais, não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) para as variáveis sensoriais de textura e impressão global. Entretanto, para o atributo sabor, o queijo proveniente do leite de vacas alimentadas com 0% de palma teve valor superior ($p < 0,05$) em relação aos demais (Tabela 6).

Tabela 6. Resultado do teste de aceitação na análise sensorial do queijo Minas Frescal produzido com leite de vacas alimentadas com níveis crescentes de palma forrageira na ensilagem com sorgo biomassa BRS 716

Variáveis	Dietas experimentais				
	0%	15%	30%	45%	60%
Textura	7 ^a	7 ^a	7 ^a	7 ^a	7 ^a
Sabor	7,5 ^a	7 ^b	7 ^b	7 ^b	7 ^b
IG ^A	7 ^a	7 ^a	7 ^a	7 ^a	7 ^a
N ^B	100	100	100	100	100

^AImpressão Global, ^Bnúmero de provadores. Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem pela diferença mínima significativa (teste de Friedman).

Os resultados do teste de ordenação da preferência dos queijos Minas frescal estão apresentados na Tabela 7, e não houve variação ($p > 0,05$) entre os queijos provenientes do leite de vacas alimentadas com níveis crescentes de palma forrageira na dieta.

Tabela 7. Resultado da ordenação de preferência da análise sensorial do queijo Minas Frescal produzido com leite de vacas alimentadas com níveis crescentes de palma forrageira na ensilagem com sorgo biomassa BRS 716

	Dietas experimentais				
	0	15	30	45	60
Soma das ordens	305	327	276	271	316
N ¹	100	100	100	100	100

¹número de provadores; Totais de soma das ordens com mesma letra na linha não diferem entre si ($p < 0,05$) quando avaliada a diferença mínima significativa (DMS). DMS=61

O comportamento quadrático das variáveis dependentes nos componentes principais CP1 e CP2, os quais contribuíram e explicaram 79% da variação total dos resultados. Destacaram-se variáveis com maior autovalor as relacionadas ao perfil lipídico, como Σ AGS (-0,1660), C16:0 (-0,1610), C14:0 (-0,1482) e Σ AGMI (0,1662), além dos índices AGPI/AGS (0,1256) e ômega 3 (0,1524) na CP1. Ainda no mesmo componente, verificaram-se maiores autovalores nas variáveis físico-químicas, como proteína (0,0206) e umidade (0,0153). A CP2 explicou isoladamente 24% da variância total dos resultados, com destaque para o GES (0,1728), proteína (0,2217) e sólidos totais (0,1909) com maiores autovalores.

Com base na análise de agrupamento hierárquico (Figura 3) dois grandes agrupamentos foram observados. O primeiro composto pelas dietas com 45% e 60% de inclusão de palma que apresentaram comportamento semelhante das variáveis dependentes nesses dois tratamentos e com menor distância Euclidiana. A distância entre os ramos representa o grau de dissimilaridade entre os tratamentos.

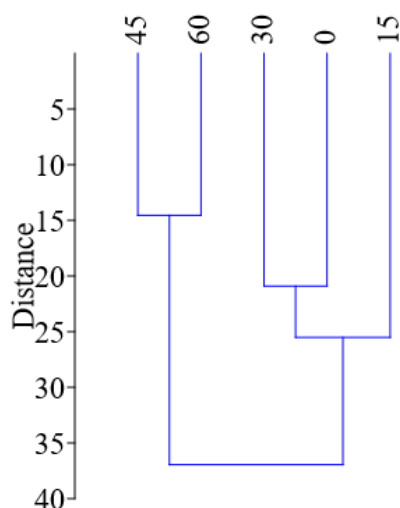


Figura 3. Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico, baseado nas características físico-químicas, lipídicas e de textura do queijo Minas Frescal produzido com leite de vacas alimentadas com níveis crescentes de palma forrageira na silagem com sorgo biomassa BRS 716.

4.4 DISCUSSÃO

A inclusão de palma forrageira ensilada na dieta dos animais não influenciou a produção de leite corrigida para 3,5% de gordura. Os teores de gordura, proteína, sólidos totais e lactose do leite não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, o que indica que a substituição parcial do sorgo biomassa BRS 716 pela palma não altera a composição centesimal do leite. Isso pode estar relacionado à melhoria na digestibilidade dos carboidratos não fibrosos presentes na palma, que favorecem a fermentação ruminal e a síntese de proteína microbiana, favorecendo a manutenção da composição do leite (Batista *et al.*, 2003; Cordeiro *et al.*, 2023), mesmo com a redução dos teores de matéria seca das dietas. Os parâmetros de qualidade higiênico-sanitária, representados pela contagem de

células somáticas (CCS) e contagem padrão em placas (CPP), não foram afetados significativamente pelos tratamentos. Esses resultados indicam que os índices de CCS e CPP permaneceram dentro dos padrões recomendados, refletindo boas práticas de manejo e higiene durante o processo de ordenha e armazenamento do leite.

Embora não exista um padrão específico definido na legislação para o parâmetro de A_w , no presente trabalho a média encontrada no queijo indica alta perecibilidade uma vez que o teor médio foi de 0,98, sendo que valores próximos a 1 indicam queijo com maior risco de deterioração devido a água disponível para as multiplicações das bactérias (Dargère *et al.*, 2023; Pereira *et al.*, 2025).

A análise estatística revelou uma tendência linear de elevação da acidez titulável ($P=0,02$), enquanto o pH apresentou comportamento quadrático em função dos níveis de palma, com ponto de máximo estimado em 25,16% de palma na silagem. Esse resultado sugere que até esse nível de inclusão há tendência de aumento no pH do queijo, seguido por uma leve redução com maiores níveis de palma na dieta. A tendência de aumento da acidez titulável do queijo pode estar relacionado à maior disponibilidade de carboidratos fermentáveis presentes na palma, que favorecem a produção de ácidos graxos voláteis no rúmen e podem impactar a composição do leite utilizado na fabricação do queijo (Soares *et al.*, 2019; Andrade *et al.*, 2020). Esse efeito já foi observado em outros estudos que avaliaram dietas ricas em carboidratos solúveis e sua relação com o aumento da fermentação ruminal e, conseqüentemente, da acidez do leite (Mühlbach, 2003; Marques *et al.*, 2011; Vargas *et al.*, 2019). O comportamento quadrático do pH pode ser explicado pelo equilíbrio entre os teores de carboidratos solúveis presentes na palma e a fermentação por possíveis bactérias durante o processamento do queijo.

Os valores de pH observados em todos os tratamentos variaram entre 6,66 e 6,86, caracterizando o queijo Minas frescal como um produto de coagulação predominantemente enzimática. O pH elevado é característico de queijos frescos, pois não há a presença significativa de culturas lácticas fermentativas que promovam a acidificação do meio (Fox *et al.*, 2017; Walstra *et al.*, 2013). Esse perfil de pH reflete um queijo que mantém sua estrutura original e sua composição química sem passar por processos de maturação que poderiam reduzir o pH e promover o desenvolvimento de características sensoriais mais complexas.

Portanto, o pH observado é coerente com as características de um queijo fresco, destinado a consumo rápido, com alta umidade e maior suscetibilidade à deterioração microbiológica.

A análise estatística demonstrou comportamento quadrático para os teores de proteína ($P=0,000$) dos queijos, com um ponto de mínimo estimado em 28,9% de inclusão de palma forrageira na dieta. Isso indica que, até esse nível de inclusão, há uma tendência de redução no teor de proteína do queijo, seguida por um aumento com maiores níveis de palma na dieta. O alto teor de água da palma forrageira pode causar um efeito de diluição na densidade de nutrientes da dieta, resultando em menor disponibilidade de aminoácidos essenciais para a síntese proteica no leite (Silva *et al.*, 2009).

O efeito positivo da adaptação da microbiota ruminal em dietas com maior teor de carboidratos solúveis, como a palma forrageira, não foi observado no presente estudo. Em vez disso, a inclusão de palma forrageira inicialmente reduziu o teor de proteína do queijo. Este resultado pode ser atribuído ao efeito de diluição causado pelo elevado teor de água da palma, que reduz a concentração de nutrientes na dieta, diminuindo a oferta de aminoácidos essenciais necessários para a síntese de proteína no leite (Silva *et al.*, 2009). Além disso, a rápida fermentação dos carboidratos solúveis da palma pode ter levado a uma redução na produção de proteína microbiana devido ao menor pH ruminal e possível redução da população microbiana celulolítica (Bach *et al.*, 2005; Doreau *et al.*, 2011).

A inclusão de palma forrageira na dieta, dentro dos níveis avaliados neste estudo não causou alterações significativas na gordura, gordura no extrato seco total, sólidos totais, umidade, cinzas. Os queijos produzidos apresentaram uma média de 67,04% de umidade, enquadrando-se na classificação de alta umidade estabelecida pela Instrução Normativa nº 4/2004, que define o queijo Minas Frescal como um produto de alta umidade (acima de 55%). Embora os queijos produzidos apresentem, em média, 47,74% de gordura no extrato seco total, essa classificação não define o queijo Minas Frescal como "gordo". O queijo Minas Frescal é caracterizado principalmente por sua alta umidade (acima de 55%) e por ser um queijo fresco, não maturado, de consumo imediato (BRASIL, 2001). Valores próximos a esse foram encontrados por Martins *et al.* (2012) quando se utilizou a silagem de sorgo em dietas para vacas mestiças.

Embora não existam valores específicos na legislação para sólidos totais em queijos Minas frescal, a indústria geralmente busca manter esses valores dentro de faixas

consideradas ideais para garantir a qualidade do produto. Apesar da ausência de significância estatística, é importante ressaltar que os sólidos totais são um importante indicador da qualidade do queijo. No presente trabalho a média encontrada foi de 32,89%. Valores adequados de sólidos totais são essenciais para garantir a textura, o sabor e a conservação do queijo Minas Frescal (Andrade *et al.*, 2020). Além disso, as variações nos sólidos totais podem ser influenciadas por fatores como raça, estágio de lactação e condições de processamento do queijo (Soares *et al.*, 2019; Andrade *et al.*, 2020).

Para cinzas, os queijos apresentaram um percentual médio de 13,94% no extrato seco total (EST), valor superior ao relatado por Alves (2010), que encontrou 4,1% de cinzas no EST do queijo Minas Frescal. Essa diferença pode ser atribuída a variações na composição mineral do leite, que são influenciadas por diversos fatores, incluindo a dieta das vacas, o manejo alimentar e as condições de processamento do queijo (Fox *et al.*, 2017). No presente estudo, a inclusão de palma forrageira na dieta pode ter contribuído para a elevação dos teores de minerais no leite e, conseqüentemente, no queijo, uma vez que a palma é uma forrageira rica em minerais como cálcio e magnésio (Dubeux *et al.*, 2015). No entanto, essa hipótese deve ser avaliada com cautela, pois outros fatores, como o teor de matéria seca do leite, a eficiência de coagulação e o processo de dessoragem, também podem influenciar o teor de cinzas no queijo

Os parâmetros mecânicos do queijo, como textura e cisalhamento, são fundamentais para determinar sua aceitação comercial e comportamento durante o consumo. A inclusão da palma forrageira na dieta dos animais não influenciou significativamente os parâmetros de textura ($P>0,05$), indicando que a estrutura do queijo foi mantida independentemente do nível de substituição do volumoso tradicional pela palma. Isso sugere que a composição proteica e lipídica do leite, que são fatores determinantes na formação do queijo, não foram alteradas a ponto de comprometer sua firmeza e elasticidade (Monteiro *et al.*, 2018).

Os resultados de cisalhamento nos queijos avaliados também não apresentaram efeitos da dieta. A força do pico ao cisalhamento, que representa a resistência máxima antes da quebra da estrutura do queijo, não foi afetada significativamente pelos tratamentos ($P=0,7084$), sugerindo que, apesar da tendência de redução na resistência ao cisalhamento, a estrutura geral do queijo manteve sua integridade. Esse achado é importante, pois sugere que o queijo não sofreu alterações em sua textura, que poderiam comprometer sua

aceitação pelos consumidores e sua viabilidade para diferentes usos gastronômicos e industriais (Porto Filho *et al.*, 2020). A redução na resistência ao cisalhamento pode ser um fator positivo para queijos que necessitam de maior maciez e facilidade de fatiamento. No entanto, em produtos que exigem maior firmeza, essa mudança pode ser um aspecto a ser monitorado, dependendo da aplicação desejada. Segundo Siqueira *et al.* (2017), alterações na estrutura e maciez do queijo pode ser justificada por mudanças na composição lipídica do queijo, especialmente pela redução da fração de ácidos graxos monoinsaturados e aumento da fração saturada, o que pode ter impactado a estrutura da matriz lipídica e proteica do queijo (Siqueira *et al.*, 2017).

O somatório de ácidos graxos saturados (Σ AGS) não foi alterado pelos níveis de palma nas dietas das vacas. Dentre os ácidos graxos saturados, o C4:0 apresentou efeito quadrático em função dos níveis de palma na dieta. Ácidos graxos de cadeia curta são sintetizados de forma endógena na glândula mamária e estão associados ao aroma característico dos produtos lácteos (Siqueira *et al.*, 2017). Esses resultados indicam que a palma forrageira, por ser altamente fermentável no rúmen, contribui para um ambiente propício à produção desses ácidos graxos. Essa característica é coerente com o relato por Ferreira *et al.* (2009), que destacaram a capacidade da palma forrageira de aumentar a produção de energia fermentável rapidamente disponível no rúmen.

A inclusão da palma forrageira na dieta dos animais influenciou a composição de ácidos graxos (AGs) do queijo, especialmente em relação às concentrações dos ácidos graxos saturados, palmítico (C16:0) e esteárico (C18:0). O ácido palmítico é um dos AGS de cadeia média, que têm sido relacionados ao desenvolvimento de doenças coronarianas, como a arteriosclerose, por contribuírem para o aumento da concentração de lipoproteínas de baixa densidade (LDL) no organismo (Santos *et al.*, 2013). Por outro lado, em estudo que avaliou os efeitos dos ácidos graxos dietéticos na prevenção secundária de doenças cardíacas coronarianas, não foi encontrada evidência significativa de redução do risco dessas doenças com a substituição de ácidos graxos saturados por insaturados (Schwingshackl e Hoffmann, 2014). Esse resultado pode ser parcialmente atribuído à natureza da palma forrageira, que é rica em carboidratos solúveis e possui baixo teor de fibra efetiva, o que pode alterar a biohidrogenação ruminal e favorecer a síntese de ácidos graxos saturados (MIZUBUTI *et al.*, 2007). A redução nas concentrações de ácido esteárico (C18:0) na gordura do queijo com o

aumento dos níveis de palma na dieta pode ser explicada por um possível aumento na taxa de passagem pelo rúmen, limitando o tempo para a completa biohidrogenação ruminal dos AG polinsaturados.

Houve efeito quadrático para os ácidos graxos isotridecanoico (C13:0 iso) e heptadecanoico (C17:0). Uma parte significativa dos ácidos graxos saturados de cadeia longa tem origem na alimentação e é transportada na forma de triglicerídeos por lipoproteínas de muito baixa densidade (VLDL). Esses compostos são então absorvidos pelo epitélio da glândula mamária, em um processo que depende da ação da enzima lipase lipoproteica presente nesse tecido (Lanier e Corl, 2015). Essa hipótese é sustentada pelo fato da palma forrageira apresentar uma proporção considerável desses ácidos graxos de cadeia longa, correspondendo a 72,63%. Para os demais ácidos graxos saturados não houve diferença entre as dietas estudadas.

O somatório de ácidos graxos monoinsaturados (Σ AGMI) não foi influenciado pelas dietas, todavia, apresentou tendência de redução linear para o ácido oléico (C18:1 c9) ($P=0,07$), cuja média foi de 18,40 mg/g. Este ácido está associado à melhora do perfil lipídico plasmático, sendo desejável sua elevação (JAMES *et al.*, 2014).

A concentração do ácido vacênico (C18:1 trans11) nos queijos não foi alterada pelas dietas. Soares *et al.* (2019) revelaram aumento deste ácido graxo no leite de vacas alimentadas com palma forrageira, demonstrando o potencial da palma forrageira em modular positivamente o perfil lipídico do leite e derivados. Segundo Mizubuti *et al.* (2007), a inclusão de palma forrageira, por modular o ambiente ruminal e a proporção acetato:propionato, pode favorecer a dessaturação de ácidos graxos na glândula mamária, elevando a proporção de monoinsaturados. O ácido vacênico, intermediário da biohidrogenação ruminal, é convertido em CLA c9t11 na glândula mamária (BAUMAN *et al.*, 2006), e está relacionado a efeitos benéficos à saúde humana. Apesar do CLA não ter variado significativamente, seu valor médio (0,586 mg/g) foi semelhante ao encontrado em queijos frescos oriundos de dietas com forragens tropicais (SOUSA *et al.*, 2019).

Os ácidos graxos poli-insaturados (Σ AGPI) não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos ($P=0,2069$). O teor de ácido linoléico conjugado (CLA – C18:2 c9t11) nos queijos foram mantidos ($P=0,4798$), indicando que a palma não compromete a presença desse ácido graxo funcional no queijo. Esse achado é de certa forma importante, pois o CLA

é associado a potenciais benefícios à saúde, como propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias (Silva *et al.*, 2018).

Lanier e Corl (2015) citam que os ácidos graxos poli-insaturados presentes na gordura do leite são derivados dos ácidos graxos do plasma sanguíneo, os quais têm origem em ácidos graxos livres da mobilização de gordura corporal e dos ácidos graxos de origem dietética transportados como triglicerídeos pelas lipoproteínas de muito baixa densidade. De acordo com Chilliard *et al.* (2007), como os AGPI não são sintetizados pelos tecidos dos ruminantes, sua concentração no leite é determinada pela quantidade desses ácidos que chegam ao duodeno. De acordo com Nudda *et al.* (2014), o processamento do leite não causa mudança significativa no perfil de ácidos graxos e, portanto, as concentrações de ácidos graxos na gordura de produtos do leite são essencialmente dependentes do perfil de ácidos graxos do leite antes do seu processamento. A maior modificação no perfil de AG do leite de ruminantes tem sido constatada, principalmente, pela variação na quantidade e tipos de forragens, especialmente pasto, bem como pela adição de fontes de óleo, já que os mesmos têm efeito sobre a bio-hidrogenação ruminal de ácidos graxos poli-insaturados.

Os índices lipídicos analisados foram influenciados de maneira diferenciada pela inclusão da palma forrageira na dieta dos animais. O índice de aterogenicidade (IA), que está associado ao potencial do alimento em aumentar os níveis de colesterol LDL no organismo, não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos ($P=0,2408$). Embora os valores observados estejam dentro da faixa comumente reportada em queijos frescos (SOUSA *et al.*, 2019). Ferreira *et al.* (2009) sugerem que a inclusão de palma forrageira, ao elevar a disponibilidade de energia fermentável no rúmen e reduzir o teor de fibra efetiva, pode favorecer a síntese de AG saturados de cadeia média, elevando o IA, o que não foi constatado no presente estudo.

O índice de trombogenicidade (IT), que avalia a tendência da gordura em promover agregação plaquetária aumentou linearmente com os níveis de palma. Valores mais baixos de IA e IT são desejáveis, por estarem associados a menor risco de doenças cardiovasculares (ULBRICHT & SOUTHGATE, 1991). O aumento desses índices com a inclusão da palma indica que, embora esse alimento seja estratégico em regiões semiáridas, seu uso em altas proporções pode impactar negativamente o perfil lipídico dos derivados lácteos.

A relação hipocolesterolêmicos/hipercolesterolêmicos (h/H) não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos ($P=0,7451$), indicando que a inclusão da palma não afetou diretamente o equilíbrio entre os ácidos graxos que promovem ou inibem a formação de colesterol. A palma, ao promover aumento de ácidos graxos como o C16:0 e diminuição do C18:0, pode ter limitado a elevação deste índice.

O conteúdo de ácidos graxos desejáveis (AGD), conforme proposto por Mendes et al. (2015), apresentou média de 35,68%, sem diferença significativa entre os tratamentos ($P=0,1996$). Esse parâmetro considera a soma de ácidos graxos com reconhecidos efeitos positivos sobre a saúde, como o C18:1 n7, C18:2 n6 e C18:3 n3.

A relação a razão de ácidos graxos poli-insaturados e saturados (AGPI/AGS), o resultado foi compatível com outros estudos em queijos de leite de vacas em dieta convencional (LIMA *et al.*, 2018). No entanto, a redução linear significativa do ômega 3 ($P=0,0001$) sugere que a palma pode diminuir a presença desse ácido graxo essencial no queijo. Por outro lado, o teor de ômega 6 não foi alterado significativamente pelos tratamentos ($P=0,8946$), mantendo-se estável nos diferentes níveis de inclusão de palma. A inclusão da palma não comprometeu a relação ômega 6/ômega 3 ($\Omega6/\Omega3$), o que é um importante indicador da qualidade nutricional da gordura do queijo. Uma relação equilibrada entre esses ácidos graxos é desejável para a saúde humana, pois o excesso de ômega 6 em relação ao ômega 3 pode estar associado a processos inflamatórios e doenças cardiovasculares (Porto Filho *et al.*, 2020).

A análise sensorial revelou que a inclusão de palma forrageira na dieta dos animais não comprometeu a aceitação sensorial dos queijos em relação aos atributos de textura e impressão global (IG), uma vez que não foram observadas diferenças significativas ($P> 0,05$) entre os tratamentos. No entanto, para o atributo sabor, verificou-se diferença significativa ($P< 0,05$), com o queijo proveniente do leite de vacas alimentadas com 0% de palma apresentando maior aceitação, com média de 7,5, em comparação com os demais tratamentos, que apresentaram valores iguais ou inferiores a 7,0. Esses resultados indicam que, embora a inclusão de palma forrageira na dieta não tenha afetado negativamente a textura e a impressão global dos queijos, ela influenciou a percepção de sabor. De acordo com Minin (2006), valores que se aproximam da escala 7 ("Gostei moderadamente") são considerados satisfatórios para o teste de aceitação, o que foi observado na maioria dos

tratamentos, demonstrando boa aceitação geral. No entanto, o menor escore para sabor nos queijos produzidos com inclusão de palma pode estar relacionado a alterações sensoriais específicas, possivelmente devido a compostos secundários presentes na forragem ou ao impacto no perfil de ácidos graxos do leite.

A soma das ordens obtidas no teste de preferência não indicou uma tendência clara de rejeição ou preferência absoluta por nenhum dos tratamentos, o que reforça a ideia de que a inclusão de palma forrageira na dieta dos animais não comprometeu a aceitabilidade global do queijo. No entanto, é importante destacar que, embora a análise de aceitação sensorial tenha revelado diferença significativa para o atributo sabor, essa variação não foi suficiente para impactar a preferência geral dos provadores. Segundo Costa *et al.* (2009), diversos fatores podem interferir nas características sensoriais do queijo, entre os quais se destaca a gordura. Essas alterações podem ocorrer não apenas em relação à sua concentração, mas também em sua composição, influenciando diretamente atributos como cor, odor, sabor e brilho do produto. No presente estudo, a diferença observada no atributo sabor pode estar associada a variações no perfil de ácidos graxos, compostos voláteis ou outros componentes derivados da palma forrageira.

Com base na análise exploratória de dados por meio dos componentes principais, no queijo Minas frescal produzido, os teores de Σ AGS, C14:0, C16:0, Σ AGMI e força de cisalhamento apresentaram maior significância (autovetores) na tomada de decisão. Ainda conforme a análise exploratória de dados, as variáveis Σ AGS, C14:0 e C16:0 que apresentaram maiores autovalores estão associadas às dietas com 45% e 60% de inclusão de palma forrageira. Essa similaridade pode ser verificada também na análise de Cluster. Do ponto de vista nutricional e sensorial, altos teores de ácidos graxos saturados (Σ AGS) podem não ser desejáveis, já que o consumo excessivo de queijo com altos teores de ácidos graxos saturados pode aumentar os riscos de doenças cardiovasculares.

4.5 CONCLUSÕES

A inclusão de palma forrageira ensilada com sorgo biomassa BRS 716 na dieta de vacas $\frac{3}{4}$ Holandês x Zebu não comprometeu a qualidade físico-química, microbiológica e sensorial do queijo Minas Frescal, exceto para o atributo sabor, que apresentou menor aceitação nos queijos provenientes de vacas alimentadas com palma. Os teores de gordura,

665 sólidos totais, umidade, cinzas e textura do queijo, bem como a produção e composição do
666 leite, não foram afetados significativamente. O teor de proteína apresentou comportamento
667 quadrático, com ponto de mínimo em 28,9% de inclusão. A inclusão de palma reduziu o
668 ácido esteárico e aumentou o índice de trombogenicidade, o que pode impactar
669 negativamente o perfil lipídico do queijo. Diante desses resultados, recomenda-se que a
670 inclusão de palma forrageira ensilada com sorgo biomassa BRS 716 na dieta de vacas
671 leiteiras seja limitada a níveis inferiores a 30%, pois essa proporção não compromete a
672 qualidade geral do queijo Minas Frescal e permite a utilização de uma forrageira adaptada
673 ao semiárido, com potencial para reduzir custos de produção. No entanto, para otimizar o
674 perfil nutricional do queijo, sugere-se que a palma seja associada a outras fontes de
675 volumosos e concentrados com perfil lipídico mais equilibrado.

676

677 **4.6 AGRADECIMENTOS**

6784.1 À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG pelo auxílio
679 financeiro; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e ao
680 Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio com
681 bolsas de estudo/pesquisa; e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia - INCT- Ciência
682 Animal.

683 4.7 REFERÊNCIAS

- 684 ANDRADE, A. P. C. D.; et al. Evaluation of the physical and chemical parameters of Minas Frescal and
685 Ricotta cheese marketed in Fortaleza, Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, v. 51, p. e20186414, 2020.
- 686 ANDREU-COLL, AL, LAMADRID, CM, SENDRA, E., BARRACHINA, C. Á., LEGUA, P. E HERNÁNDEZ, F.
687 (2019). Perfil de ácidos graxos de frutas (polpa e casca) e cladódios (jovens e velhos) de figo da Índia [
688 *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] de seis cultivares espanholas. *Diário de Comida Composição e Análise*,
689 84, 103294.10.1016/j.jfca.2019.103294
- 690 BASSETT, M.C.C.; EDEL, A.L.; PATENAUDE, A.F. et al. Dietary vaccenic acid has antiatherogenic effects
691 in LDL LDLr^{-/-} mice. *J. Nut. Dis.*, v.140, p.18-24, 2010.
- 692 BAUMAN, D. E. et al. Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants. *Journal of Animal Science*,
693 v. 84, p. 8–18, 2006.
- 694 Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diretoria Colegiada.
695 Instrução normativa nº161, de 01 de julho de 2022. Estabelece os padrões microbiológicos dos
696 alimentos. Brasília, 2022. Available from:
697 [https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/6503717/%281%29IN_161_2022_COMP.pdf/64b836](https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/6503717/%281%29IN_161_2022_COMP.pdf/64b8368b-1f56-43c9-ab89-0674ef9a069f)
698 [8b-1f56-43c9-ab89-0674ef9a069f](https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/6503717/%281%29IN_161_2022_COMP.pdf/64b8368b-1f56-43c9-ab89-0674ef9a069f)
- 699 BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Aprova o Regulamento Técnico para
700 Fixação de Identidade e Qualidade de Queijo Minas Frescal. Portaria nº 352, de 4 de setembro de
701 1997. *Diário Oficial da União*, seção 01, Brasília, DF, p.19684, 08 set de 1997.
- 702 BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº 10.468, de 18 de agosto de
703 2020. Altera o decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017, que regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de
704 dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre o regulamento
705 da inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. *Diário Oficial da União*, seção 1,
706 Brasília, DF, n. 159, p. 5, 19 ago de 2020.
- 707 BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regulamento técnico para fixação de
708 identidade e qualidade de queijos. Instrução Normativa nº 4, de 01 de março de 2004. Brasília, 2004.
- 709 BRITO, G. S. M. S., SANTOS, E. M., ARAÚJO, G. G. L., OLIVEIRA, J. S., ZANINE, A. M., PERAZZO, A. F.,
710 CAMPOS, F. S., LIMA, A. G. V. O., & CAVALCANTI, H. S. (2020). Mixed silages of cactus pear and
711 gliricídia: chemical composition, fermentation characteristics, microbial population and aerobic
712 stability. *Scientific Reports*. 10, 1-13.
- 713 CAVALCANTE, L. A. D.; SANTOS, G. R.; SILVA, L. M.; FAGUNDES, J. L.; SILVA, M. A. Respostas de
714 genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo., v.44, n.4, p.424-433, 2014.
- 715 CHAUHAN, A., SAXENA, D. C., & SINGH, S. (2016). Características físicas, texturais e sensoriais de
716 biscoitos de mistura de farinha de trigo e amaranto. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1125773
- 717 CHILLIARD, Y., GLASSER, F., FERLAY, A., BERNARD, L., ROUEL, J. AND DOREAU, M. (2007), Diet, rumen
718 biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 109: 828-
719 855.

720 COELHO, K. O. et al. Efeito da contagem de células somáticas sobre o rendimento e a composição
721 físico-química do queijo muçarela. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v. 66, n. 4,
722 p. 1260-1268, 2014.

723 Companhia Nacional de Abastecimento (Conab). (2024). .

724 COSTA, R.G.; FERNANDES, M.F.; QUEIROGA, R.C.R.E. Características químicas e sensoriais do leite de
725 cabras Moxotó alimentadas com silagem de maniçoba. Rev. Bras. Zootec., v.37, p.694-702, 2008.

726 COSTA, RG; BELTRÃO FILHO, EM ; QUEIROGA, R. DE CR DO E.; MEDEIROS, AN DE; MAIA, M. DE O.;
727 CRUZ, SESBS, 2009. Substituição parcial do farelo de soja por uréia na produção e composição físico-
728 química do leite em cabras Saanen. Rev. Brás. Saúde Prod. Animação, 10 (3): 596-603

729 DARGÈRE, A. F., PINTO, S. M., ABREU, L. R., CORREIA, L. F., SANTOS, D. B., SILVA, J. G., MARÇAL, J. O.,
730 GARBOSSA, C. A. P., FARIA, R. A. P. G., & FARIA, P. B.. (2023). Artisanal Minas cheese parameters
731 associated with regions of origin in Minas Gerais, Brazil. Arquivo Brasileiro De Medicina Veterinária E
732 Zootecnia, 75(3), 395–406. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-12851>

733 FERREIRA, A. C. H. ; NEIVA, J. N. M. ; RODRIGUEZ, N. M. ; SANTANA, G. Z. M. ; BORGES, I. ; LOBO, R. N.
734 B., 2009. Performance of sheep fed with silages of elephant grass mixed with by-products from
735 tropical fruit juices industry. Rev. Ciencia Agron., 40 (2): 315-322

736 FLUCK, A.C., SCHAFFHÄUSER JÚNIOR, J., ALFAYA JÚNIOR, H., COSTA, O.A.D., FARIAS, G. D., SCHEIBLER,
737 R. B., RIZZO, F. A., MANFRON, J. A. S., FIOREZE, V. I., RÖSLER, D. C. (2018). Composição química da
738 forragem e do ensilado de azevém anual em função de diferentes tempos de secagem e
739 estádios fenológicos. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 70(6), p.1979-1987.

740 FOX, P. F.; GUINEE, T. P.; COGAN, T. M.; MCSWEENEY, P. L. H. Fundamentals of Cheese
741 Science. 2. ed. Springer, 2017.

742 FURTADO, M. M.; LOURENÇO NETO, J. P. M. Tecnologia de queijos: manual técnico para produção
743 industrial de queijos. 1.ed. São Paulo: Dipemar, 1994. 118 p

744 GARCÍA, G.A.G.; REIS, R.B.; PEREIRA, A.B.D. et al. Produção e composição do leite de vacas em
745 pastagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) suplementado com diferentes fontes de
746 carboidratos. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., v.62, p.875-882, 2010.

747 GUERREIRO, P. K. et al. Qualidade microbiológica de leite em função de técnicas profiláticas no
748 manejo de produção. Ciência e Agrotecnologia, v. 29, n. 1, p. 216-222, 2005.
749 <https://doi.org/10.1590/S1413-70542005000100027>

750 IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Trimestral do Leite: 1º trimestre de**
751 **2024**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 mar. 2024.

752 IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Produção de leite. 2022 Disponível em:
753 <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/leite/br> Acesso em: 18 out.2024

754 KOPPEN, W. Climatologia: com um estúdio de los climas de latierra. 1948. México: Fondo de cultura
755 Econômica, 479.

756 LANIER, J.S.; CORL, B.A. 2015. Challenges in enriching milkfat with polyunsaturated fatty acids.
757 Journal of Animal Science and Biotechnology 6 1-9.

758 LANIER, J.S.; CORL, B.A. Challenges in enriching milk fat with polyunsaturated fatty acids. Journal of
759 Animal Science and Biotechnology, v.6, n.26, 2015.

760 Leite, D. C. A., et al. (2018). Composição de ácidos graxos do queijo e leite de vacas alimentadas com
761 casca de banana. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 70, 965-974.

762 LIMA, K. G. et al. Perfil de ácidos graxos em queijo minas frescal de leite de vacas alimentadas com
763 silagem de capim elefante. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, v. 19, p. 537–546, 2018.

764 LUCATTO, J.N; MENDONÇA, S.N.T.G; DRUNKLER, D.A. Ácido linoleico conjugado: estrutura química,
765 efeitos sobre a saúde humana e análise em lácteos. Revista Instituto Laticínios Cândido Tostes, Juiz
766 de Fora, v.69, n.3, p.199- 211, mai/jun, 2014.

767 MARQUES, L. T.; FISCHER, V.; ZANELA, M. B.; RIBEIRO, M. E. R.; STUMPF JÚNIOR, W.; RODRIGUES, C.
768 M. Produção leiteira, composição do leite e perfil bioquímico sanguíneo de vacas lactantes sob
769 suplementação com sal aniônico. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 40, n. 5, p. 1088-1094, 2011.

770 MARTINS, S. C. DOS S. G., ROCHA JÚNIOR, V. R., CALDEIRA, L. A., REIS, S. T. DOS ., BARROS, I. C.,
771 OLIVEIRA, J. A. DE ., SANTOS, J. F. DOS ., & SILVA, G. W. V.. (2012). Rendimento, composição e análise
772 sensorial do queijo minas frescal fabricado com leite de vacas mestiças alimentadas com diferentes
773 volumosos. Revista Brasileira De Zootecnia, 41(4), 993–1003. [https://doi.org/10.1590/S1516-](https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000400023)
774 35982012000400023

775 McDONALD, P.; HENDERSON, A.R.; HERON, S.J.E. The biochemistry of silage. 2.ed. Marlow:
776 Chalcombe Publications, 1991. 340p

777 MEILGAARD M, CIVILLE G V, CARR B T (1999) Sensory evaluation techniques. Boca Raton: CRC Press 2
778 387.

779 MENDES, L. L. et al. Qualidade nutricional da gordura de produtos lácteos. Revista do Instituto de
780 Laticínios Cândido Tostes, v. 70, n. 6, p. 305–315, 2015.

781 MIZUBUTI, I.Y.; RIBEIRO, E.L.A.; ROCHA, M.A. et al Consumo médio e digestibilidade do feno de capim
782 "Coast cross" *Cynodon dactylon* (L.) pers.) e feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp) em carneiros
783 submetidos a dois regimes alimentares. Semina: Cienc. Agrárias, v.28, p.513-520, 2007.

784 MONTEIRO, CCF, FERREIRA, MA, VÉRAS, SCA, GUIDO, SI, ALMEIDA, MP, SILVA, RC, & INÁCIO, JG
785 (2018). Uma nova variedade de cacto para vacas leiteiras em áreas infestadas com *Dactylopius opunt*
786 *iae*. Ciência da Produção Animal, 1(1), AG.10.1071/AN1 7256.

787 MONÇÃO, F. P.; ROCHA JÚNIOR, V. R.; LEAL, D. B.; RIGUEIRA, J. P. S.; CALDEIRA, L. A.; SILVA, R. K. O.
788 J.; ANTUNES, A. B.; CARVALHO, C. C. S.; SANTOS, A. S. AND D'ANGELO, M. F. S. V. 2024. Impact of
789 mixed forage silage with BRS Capiapu grass, ground corn, and varying forage palm levels on aerobic
790 stability, fermentation profile, chemical composition, and digestibility. Revista Brasileira de Zootecnia
791 53:e20240122. <https://doi.org/10.37496/rbz5320240122>

792 MORAES, G.S.O.; GUIM, A.; TABOSA, J.N.; CHAGAS, J.C.C.; ALMEIDA, M.P.; FERREIRA, M.A. Cactus
793 [Opuntia stricta (Haw.) Haw] cladodes and corn silage: How do we maximize the performance of
794 lactating dairy cows reared in semiarid regions? *Livest. Sci.* 2019, 221, 133–138.

795 MOURTHÉ, M.H.F.; REIS, R.B.; GAMA, M.A.S. et al. Perfil de ácidos graxos do leite de vacas Holandês
796 x Gir em pastagem de capim-marandu suplementado com quantidades crescentes de grão de soja
797 tostado. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.67, p.1150-1158, 2015.

798 MÜHLBACH, P.R.F. Nutrição da vaca em lactação e a qualidade do leite. In: I Simpósio de
799 Bovinocultura de Leite (09 e 10 setembro 2003). Anais... Chapecó: SC, p. 25-43, 2003

800 NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition.
801 Washington, DC: The National Academies Press, 2021

802 NOGUEIRA, M. S.; SANTOS, E. M.; ARAÚJO, G. G. L. et al. Ensilagem de palma forrageira. In: SANTOS,
803 E. M.; PARENTE, H. N.; OLIVEIRA, J. S. et al. Ensilagem de plantas forrageiras para o Semiárido. São
804 Luís: Ed. EDUFMA, 2016. p. 249.

805 NUDDA A, BATTACONE G, BOAVENTURA NETO O, CANNAS A, FRANCESCONI A H D, ATZORI A S,
806 PULINA G (2014) Feeding strategies to design the fatty acid profile of sheep milk and cheese. *Revista*
807 *Brasileira de Zootecnia* 43 445-456.

808 PAIVA, C. A. V. et al. Evolução anual da qualidade do leite cru refrigerado processado em uma
809 indústria de Minas Gerais. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 64, n. 2, p. 471-
810 479, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352012000200030>

811 PEREIRA, M de A; BATISTA, G A; OLIVEIRA, D C F; MIRANDA, A L de S; CESÁRIO, A L E; ARAUJO,
812 Rafaela D M; BUENO, L O; GRACIANO, A C; ALMEIDA, S K P; S, S R Qualidade do queijo Minas frescal:
813 revisão sistemática. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, Curitiba, v. 23, n. 2, p. 1–
814 21, 2025. DOI: .

815 PORTO FILHO, J.M.; COSTA, R.G.; RIBEIRO, N.L. et al. Study of morphometric and ruminal parameters
816 in Santa Inês sheep fed spineless cactus (*Opuntia ficus-indica*, MILL). *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*,
817 v.72, p.2045-2052, 2020.

818 ROCHA, FC; GARCÍA, R.; FREITAS, AW DE P.; SOUZA, AL DE; VALADARES FILHO, S. DE C.; PEREIRA, OG;
819 RIGUEIRA, JPS; TONUCCI, RG; ROCHA, GC, 2006. Consumo e digestibilidade de vacas leiteiras em
820 lactação alimentadas com dietas contendo casca de café. *Rev. Brás. Zootec.*, 35 (5): 2154-2162

821 ROCHA, J.S.; BURITI, F.C.A.; SAAD, S.M.I. Condições de processamento e comercialização de queijo-
822 de-minas frescal. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.58, n.2, p.263-272, 2006.

823 SAAG, L. M. K. et al. Cactaceae mucilage composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*,
824 v. 26, n. 7, p. 993-1000, 1975.

825 SALOTTI, B.M.; CARVALHO, A.C.F.B.; AMARAL, L.A.; VIDAL MARTINS, A.M.C.; CORTEZ, A.L. Qualidade
826 microbiológica do queijo Minas frescal comercializado no município de Jaboticabal, SP, Brasil.
827 *Arquivos do Instituto de Biológico, São Paulo*, v.73, n.2, p.171-175, 2006.

828 SANTOS, R. M.; LOPES, G. T.; ALMEIDA, J. P. Produção de queijos artesanais em Minas Gerais:
 829 relevância cultural e econômica. Boletim de Pesquisa em Laticínios, v. 15, n. 2, p. 22-30, 2018.
 830 Acesso em: 30 dez. 2024.

831 SANTOS, R.D.; GAGLIARDI, A.C.M.; XAVIER H.T. et al. Sociedade Brasileira de Cardiologia. I Diretriz
 832 sobre o consumo de gorduras e saúde cardiovascular. Arq. Bras. Cardiol. v.100, Supl.3, p.1-40, 2013.

833 SCHWINGSHACKL, L.; HOFFMANN, G. Dietary fatty acids in the secondary prevention of coronary
 834 heart disease: a systematic review, meta-analysis and meta-regression. BMJ Open, v.4, p.1-9, 2014.

835 SILVA D A, ROCHA JÚNIOR V R, RUAS J R M, SANTANA P F, BORGES L A, CALDEIRA L A, REIS S T,
 836 MENEZES J C, LANNA D P D (2019) Chemical and fatty acid composition of milk from crossbred cows
 837 subjected to feed restriction. Pesquisa Agropecuária Brasileira 54 1-10.

838 SILVA, C. C. F. da; SANTOS, L. C. Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) como alternativa na
 839 alimentação de ruminantes. Revista Eletrônica de Veterinária REDVET®, ISSN 1695-7504, Vol. VII, nº
 840 10, Out. 2006. Disponível em: www.veterinaria.org/revistas/redvet/n101006/100609.pdf

841 SILVA, R.C.M.A.; FERREIRA, M.A.; OLIVEIRA, J.C.V. et al. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*
 842 [Haw.] Haw.) spineless cactus as an option in crossbred dairy cattle diet. South Afr. J. Anim. Sci., v.48,
 843 p.516-525, 2018.

844 SOARES, C; ROCHA JÚNIOR, V R; CALDEIRA, L A; BORGES, L D A; RUAS, J R M; RAMOS, J C PACHECO ;
 845 SANTOS, W F S; SILVA, G H RABELO, W DE O. Quality of cheese produced with milk from cows fed
 846 forage palm with different forages. SEMINA. CIÊNCIAS AGRÁRIAS (ONLINE), v. 40, p. 311, 2019

847 SOUSA, R. P. et al. Perfil de ácidos graxos de queijo minas frescal produzido com leite de vacas em
 848 pastejo. Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes, v. 74, n. 4, p. 206–215, 2019.

849 Ulbrich T, L V; Southgate D T A (1991) Coronary heart disease: seven dietary factors. Journal Lancet
 850 19 985-992.

851 VARGAS, DP de et al. Correlações entre contagem de células somáticas e parâmetros físico-químicos
 852 e microbiológicos de qualidade do leite. Ciência Animal Brasileira, v. 15, n. 4, p. 473-483, 2014.
 853 <https://doi.org/10.1590/1809-6891v15i42063>

854 WALSTRA, P.; WOUTERS, J. T. M.; GEURTS, T. J. Dairy Science and Technology. 2. ed. Boca
 855 Raton: CRC Press, 2013.

856

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo indicam que a inclusão de palma forrageira ensilada com sorgo biomassa BRS 716 na dieta de vacas $\frac{3}{4}$ Holandês x Zebu é uma estratégia promissora para sistemas leiteiros no semiárido, desde que utilizada com cautela. A inclusão de até 30% de palma não comprometeu a produção e composição do leite, nem a maioria dos parâmetros físico-químicos, microbiológicos e sensoriais do queijo Minas Frescal, com exceção do atributo sabor, que apresentou menor aceitação nos queijos oriundos de vacas alimentadas com palma. Além disso, embora não tenham sido observadas alterações significativas nos teores de gordura, sólidos totais, umidade, cinzas e textura do queijo, o teor de proteína apresentou comportamento quadrático, com ponto de mínimo em torno de 28,9% de inclusão. Destaca-se ainda a redução do teor de ácido esteárico e o aumento do índice de trombogenicidade nos queijos com palma, sugerindo impacto negativo no perfil lipídico. Dessa forma, recomenda-se que a inclusão de palma forrageira ensilada com sorgo biomassa BRS 716 seja limitada a níveis inferiores a 30%, como forma de garantir a qualidade geral do queijo Minas Frescal e ao mesmo tempo promover o uso de uma forrageira adaptada às condições do semiárido, com potencial para redução dos custos de alimentação. Para otimizar o perfil nutricional do produto final, é indicado o uso combinado da palma com outras fontes de volumosos e concentrados com melhor composição lipídica.