



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CAMPUS MINISTRO PETRÔNIO PORTELA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA TROPICAL

KATHLEEN VITÓRIA MARQUES SILVA RESENDE

**SISTEMA DE MANEJO CONVENCIONAL E ORGÂNICO E SUA INFLUÊNCIA NA
CONSTITUIÇÃO DO LEITE E COLOSTRO DE VACAS MISTIÇAS A2**

TERESINA – PI
2025

KATHLEEN VITÓRIA MARQUES SILVA RESENDE

**SISTEMA DE MANEJO CONVENCIONAL E ORGÂNICO E SUA INFLUÊNCIA NA
CONSTITUIÇÃO DO LEITE E COLOSTRO DE VACAS MISTIÇAS A2**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia Tropical - PPGZT da Universidade Federal do Piauí - UFPI como requisito para obtenção do título de Mestre em Zootecnia Tropical.

Área de concentração: Produção Animal nos Trópicos

Linha de Pesquisa: Melhoramento Genético e Reprodução Animal nos Trópicos

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Tânia Vasconcelos Cavalcante

TERESINA – PI

2025

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial CCA
Serviço de Representação Temática da Informação

R433s Resende, Kathleen Vitória Marques Silva.
Sistema de manejo convencional e orgânico e sua influência na
constituição do leite e colostro de vacas mestiças A2. / Kathleen
Vitória Marques Silva Resende. -- 2025.
89 f.

Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Piauí, Centro
de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Tropical, 2025.

“Orientadora: Profa. Dra. “Tânia Vasconcelos Cavalcante.”

1. Genética funcional. 2. Propriedades físico-químicas. 3.
Lactação de vacas. I. Cavalcante, Tânia Vasconcelos. II. Título.

CDD 637.5

Bibliotecário: Rafael Gomes de Sousa - CRB3/1163

KATHLEEN VITÓRIA MARQUES SILVA RESENDE

**SISTEMA DE MANEJO CONVENCIONAL E ORGÂNICO E SUA INFLUÊNCIA NA
CONSTITUIÇÃO DO LEITE E COLOSTRO DE VACAS MISTIÇAS A2**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia Tropical - PPGZT da Universidade Federal do Piauí - UFPI como requisito para obtenção do título de Mestre em Zootecnia Tropical.


Área de concentração: Produção Animal nos Trópicos

Linha de Pesquisa: Melhoramento Genético e Reprodução Animal nos Trópicos


Orientadora: Prof^a. Dr^a. Tânia Vasconcelos Cavalcante

Aprovada em 07 de fevereiro de 2025


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **TANIA VASCONCELOS CAVALCANTE**
Data: 29/04/2025 08:06:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof^a. Dr^a. Tânia Vasconcelos Cavalcante (Presidente)
/DCCV/CCA/ UFPI

Documento assinado digitalmente
 **INES MARIA BARBOSA NUNES QUEIROGA**
Data: 28/04/2025 20:39:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Inês Maria Barbosa Nunes Queiroga (Interna)/CPCE/UFPI

Documento assinado digitalmente
 **TACIANA GALBA DA SILVA TENORIO**
Data: 28/04/2025 09:27:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Taciana Galba da Silva Tenório
(Interna)/DCCV/CCA/ UFPI

Documento assinado digitalmente
 **JOASHLENNY ALVES DE OLIVEIRA**
Data: 03/05/2025 20:58:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Joashlenny Alves de Oliveira (Externo) / ISPG

Dedico à minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por toda misericórdia, fortalecimento e milagre da vida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia Tropical (PPGZT/UFPI), pela oportunidade de realizar o curso, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

À professora e minha orientadora Dr^a. Tânia Vasconcelos Cavalcante.

À professora Dr^a. Joashlenny Alves de Oliveira pela sua persistência e contribuição no desenvolvimento do trabalho.

Ao professor Dr. Lindenberg Sarmiento pela colaboração e ensinamentos no desenvolvimento do trabalho.

A minha amiga Mestre Kátia Regina Ferreira Sousa pela paciência e disponibilidade em sempre me ajudar.

À minha mãe Valda Marques Malaquias Silva pela força e proteção sempre

Aos meus filhos João Gabriel Marques Resende e Maria Antonieta Marques Resende pela força que me deram nesta trajetória.

Ao meu esposo Jefferson da Silva Resende por todo apoio e abdições por mim durante essa jornada.

À minha psicóloga Ed Coelho por todo apoio e resiliência.

A todos os Docentes do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia Tropical, por todos compartilhamentos e ensinamentos durante todo o processo de aprendizagem.

***"No tempo certo, eu, o SENHOR, farei acontecer."
Isaías 60.22***

RESUMO

RESENDE, Kathleen Vitória Marques Silva. **Sistema de manejo convencional e orgânico e sua influência na constituição do leite de vacas mestiças A2**. 2025. Dissertação (Mestrado em Zootecnia Tropical) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2025.

A busca por alimentos de alta qualidade e sustentabilidade tem intensificado estudos sobre os impactos dos sistemas de manejo e da genética na produção láctea. O alelo A2 da β -caseína, associado a benefícios à saúde, e os sistemas de manejo orgânico e convencional apresentam potenciais influências sobre a composição do leite e do colostro, exigindo maior compreensão para atender às demandas de mercados especializados. Assim, o objetivo deste estudo foi investigar as diferenças entre os sistemas criação em vacas mestiças, com foco na composição físico-química do leite (L) e colostro (C), além da influência dos alelos A2 da β -caseína na qualidade desses produtos. Foram avaliados no L e C parâmetros como gordura (GOR-L e GOR-C), lactose (LAC-L e LAC-C), proteína total (PROT-L e PROT-C), densidade (DEN-L e DEN-C), pH (pH-L e pH-C) e extrato seco desengordurado (ESD-L e ESD-C) no leite e no colostro, respectivamente, provenientes de quatro grupos (1, 2, 3 e 4) de ordens de lactação e dois sistemas distintos de manejo (CON: convencional; ORG: orgânico). A análise estatística conduzida pelo teste t, com correção de Bonferroni com nível de significância de 5%, pelos procedimentos PROC GLM e PROC GENMOD do pelo software estatísticos SAS. Com isso foi possível observar neste estudo que o terceiro grupo de lactação apresentou os maiores teores de GOR-L, enquanto a PROT-L e a LAC-L foram mais elevadas no sistema CON, possivelmente devido à dieta rica em concentrados. A DEN-L do leite também foi superior no sistema CON, indicando maior concentração de sólidos. Já o colostro do manejo ORG apresentou maior teor de GOR-C, sugerindo um perfil lipídico mais equilibrado. O pH-L e pH-C mantiveram-se estável em todas as condições analisadas. A pesquisa destaca a importância do manejo sustentável e da seleção adequada da ordem de lactação de vacas mestiças A2 para otimização da qualidade de produtos lácteos.

Palavras-chave: genética funcional, propriedades físico-químicas, sistemas alternativos

ABSTRACT

RESENDE, Kathleen Vitória Marques Silva. **Conventional and organic management system and its influence on the constitution of milk from A2 crossbred cows.** 2025. Dissertation (Master in Tropical Animal Science) – Federal University of Piauí, Teresina, 2025.

The search for high-quality and sustainable foods has intensified studies on the impacts of management systems and genetics on dairy production. The β -casein A2 allele, associated with health benefits, and organic and conventional management systems have potential influences on the composition of milk and colostrum, requiring greater understanding to meet the demands of specialized markets. Thus, the objective of this study was to investigate the differences between the breeding systems in crossbred cows, focusing on the physicochemical composition of milk (L) and colostrum (C), in addition to the influence of the β -casein A2 alleles on the quality of these products. The following parameters were evaluated in L and C: fat (GOR-L and GOR-C), lactose (LAC-L and LAC-C), total protein (PROT-L and PROT-C), density (DEN-L and DEN-C), pH (pH-L and pH-C) and defatted dry extract (ESD-L and ESD-C) in milk and colostrum, respectively, from four groups (1, 2, 3 and 4) of lactation orders and two distinct management systems (CON: conventional; ORG: organic). Statistical analysis was conducted by the t-test, with Bonferroni correction at a significance level of 5%, by the PROC GLM and PROC GENMOD procedures of the SAS statistical software. Thus, it was possible to observe in this study that the third lactation group presented the highest levels of GOR-L, while PROT-L and LAC-L were higher in the CON system, possibly due to the diet rich in concentrates. Milk DEN-L was also higher in the CON system, indicating a higher concentration of solids. Colostrum from the ORG management system showed a higher GOR-C content, suggesting a more balanced lipid profile. The pH-L and pH-C remained stable under all conditions analyzed. The research highlights the importance of sustainable management and adequate selection of the lactation order of A2 crossbred cows to optimize the quality of dairy products.

Key words: alternative systems, functional genetics, physicochemical properties

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. Configuração molecular da micela de caseína.....	31
Figura 2. Estruturas moleculares da α -lactose e β -lactose	34
Figura 3. Relação entre a o perfil genético do animal e o tipo do leite produzido	35
Figura 4. Tipos de caseína presentes no leite de vaca, incluindo as variantes A1 e A2 da β -caseína	36
Figura 5. Fragmentação das variações genéticas das β -caseínas A1 e A2, ressaltando a disparidade na posição 67, que desempenha um papel crucial na clivagem diferenciada e na liberação de β -casomorfina-7 e β -casomorfina-9.....	37
Figura 6. Certificação A2A2 em vacas leiteiras e condições de bem-estar animal	42
Figura 7. Novilha utilizando identificador (cor branca) do genótipo A2A2 na orelha esquerda.....	43
Figura 8. Análise das diferenças entre as diversas linhagens de gado com base na porcentagem de frequência do alelo A2.....	45

CAPÍTULO II

Figura 1. Valores médios do componente físico-químico GOR-L.....	71
Figura 2. Valores médios do componente físico-químico LAC-L	73
Figura 3. Valores médios do componente físico-químico DEN-L	74
Figura 4. Valores médios do componente físico-químico PROT-L.....	75
Figura 5. Valores médios do componente físico-químico pH-L.....	76
Figura 6. Valores médios do componente físico-químico ESD-L	77
Figura 7. Valores médios do componente físico-químico GOR-C.....	78
Figura 8. Valores médios do componente físico-químico LAC-C	79
Figura 9. Valores médios do componente físico-químico DEN-C	80
Figura 10. Valores médios do componente físico-químico PROT-C.....	81
Figura 11. Valores médios do componente físico-químico pH-C	82
Figura 12. Valores médios do componente físico-químico ESD-C.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Variações na composição físico-química do leite conforme as diferentes raças leiteiras	27
Tabela 2. Elementos da composição físico-química do leite	27
Tabela 3. Teor de proteínas no leite bovino	30
Tabela 4. Estrutura da sequência de aminoácidos das β -casomorfina	38

LISTA DE SIGLAS / SIMBOLOS

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APLV	Alergia à Proteína do Leite de Vaca
Asn	Asparagina
Aw	Atividade da Água
BCM-9	β -casomorfina-9
BCM-7	β -casomorfina-7
BSA	Albumina do Soro Bobino
C	Colostro
Ca	Cálcio
CEUA	Comissão de Ética no Uso de Animais
CLA	Ácido Linoleico Conjugado
CON	Convencional
CPA	Centro de Pesquisa em Alimentos
DEN	Densidade
DEN-C	Densidade no Colostro
DEN-L	Densidade no Leite
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESD	Extrato Seco Desengordurado
ESD-C	Extrato Seco Desengordurado no Colostro
ESD-L	Extrato Seco Desengordurado no Leite
EVZ	Escola de Veterinária e Zootecnia
Fen	Fenilalanina
g.L ⁻¹	Gramas por Litro
gm.L ⁻¹	Gramas por Mililitro
g.100g ⁻¹	Gramas por 100 Gramas
g.cm ⁻³	Gramas por Centímetro Cúbico
GL	Girolanda
Gli	Glicina
GLM	Modelo Linear Generalizado
GOR	Gordura
GOR-C	Gordura no colostro
GOR-L	Gordura no Leite
His67	Histidina
HO	Holandesa
Ile	Isoleucina
IgA	Imunoglobulina A
IgM	Imunoglobulina M
IgG	Imunoglobulina G
IN	Instrução Normativa
JE	Jersey
kDa	KiloDaltons
L	Leite

LAC	Lactose
LAC-C	Lactose no Colostro
LAC-L	Lactose no Leite
LQL	Laboratório de Qualidade do Leite
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MIN	Minerais
mL	Mililitro
Nº	Número
nm	Nanómetro
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
ORG	Orgânico
pH	Potencial Hidrogeniônico
pH-C	pH no Colostro
pH-L	pH no Leite
PNQL	Programa Nacional de Melhoria da Qualidade do Leite
PO	Puro de Origem
Pro	Prolina
Pro67	Prolina
PROT	Proteínas
PROT-C	Proteína no colostro
PROT-L	Proteína no leite
RE	Resolução
RIISPOA	Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal
SEG	Segundos
SIF	Serviço de Inspeção Federal
ST	Sólidos Totais
SNG	Sólidos Não-Gordurosos
Tir	Tirosina
UFC.mL ⁻¹	Contagem de Unidades Formadoras de Colônia por Mililitro
UFG	Universidade Federal de Goiás
UFPI	Universidade Federal do Piauí
18:2n-6	ácido linoléico
°C	Graus Celsius
%	percentual
α	Letra do Alfabeto Grego Chamada <i>Alfa</i>
β	Letra do Alfabeto Grego Chamada <i>Beta</i>
κ	Letra do Alfabeto Grego Chamada <i>Kappa</i>
λ	Letra do Alfabeto Grego Chamada <i>Lambda</i>

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
CAPITULO I: Influência do manejo na composição do leite e colostro de vacas	
Mestiças A2	19
1. Introdução.....	22
2. Evolução da indústria láctea no Brasil.....	23
3. Panorama da produção e do consumo de leite e derivados	24
4. Conceito e caracterização do leite.....	25
5. Aspectos da composição do leite.....	26
5.1 Água.....	27
5.2 Lipídios.....	28
5.3 Proteínas	29
5.4 Lactose	33
5.5 Sólidos totais e sólidos não gordurosos	34
6. Leite A2.....	34
6.1 Histórico e evolução genética.....	34
6.2 Impactos relacionados ao peptídeo BCM-7	38
6.3 Distúrbios gastrointestinais: intolerância à lactose e alergia às proteínas do leite.....	39
6.4 Atributos físico-químicos e tecnológicos do leite A2.....	40
6.5 Regulamentação e normativas sobre o leite A2.....	41
6.6 Processamento e beneficiamento do leite A2.....	42
6.7 Principais raças bovinas brasileiras produtoras de leite A2.....	44
6.8 Vacas A2: constituintes do leite e do colostro versus sistemas de criação	46
6.8.1 Gordura	46
6.8.2 Lactose.....	47
6.8.3 Densidade.....	48
6.8.4 Proteínas	49
6.8.5 Potencial hidrogeniônico.....	50
6.8.6 Extrato seco desengordurado	51
7. Conclusão.....	52

8. Referências Bibliográficas	54
CAPITULO II: Aspectos físico-químicos e nutricionais do leite A2 sob diferentes sistemas de produção	65
1. Introdução.....	67
2. Materiais e Métodos	69
2.1 Parecer do comitê de ética.....	69
2.2. Local e rebanho do estudo	69
2.3. Análise dos constituintes do leite e colostro das vacas A2.....	69
2.4 Análise estatística	70
3. Resultados e Discussão.....	71
3.1 Gordura no leite (GOR-L).....	71
3.2 Lactose no leite (LAC-L).....	73
3.3 Densidade no leite (DEN-L)	74
3.4 Proteína total no leite (PROT-L)	75
3.5 Potencial hidrogeniônico no leite (pH-L).....	76
3.6 Extrato seco desengordurado no leite (ESD-L).....	77
3.7 Gordura do colostro (GOR-C).....	78
3.8 Lactose do colostro (LAC-C).....	79
3.9 Densidade do colostro (DEN-C).....	79
3.10 Proteína total do colostro (PROT-C)	80
3.11 Potencial hidrogeniônico do colostro (pH-C)	81
3.12 Extrato seco desengordurado do colostro (ESD-C).....	82
4. Conclusão.....	84
5. Referências Bibliográficas.....	85
CONSIDERAÇÕES FINAIS	89

INTRODUÇÃO GERAL

A produção leiteira é uma das atividades mais relevantes para a agropecuária mundial, fornecendo um alimento essencial para a nutrição humana. O Brasil se destaca como um dos principais produtores globais, sendo a bovinocultura leiteira uma importante fonte de renda e sustento para milhões de pessoas (FAO, 2022).

Nos últimos anos, o leite A2 tem ganhado destaque por conter exclusivamente β -caseína A2, o que o diferencia do leite convencional. Estudos recentes associam o consumo desse tipo de leite a uma melhor digestibilidade e a uma menor incidência de desconfortos gastrointestinais em indivíduos sensíveis, tornando-o um produto de interesse crescente para consumidores e indústrias (FERREIRA; PICHARA; VALENTE, 2024).

A qualidade do leite é determinada por diversos fatores, incluindo genética, nutrição, ambiente e manejo. O sistema de criação, seja convencional (CON) ou orgânico (ORG), tem um impacto direto na composição físico-química do leite e do colostro, influenciando parâmetros como teor de gordura, proteína, lactose e perfil de ácidos graxos (SIQUEIRA, 2019). O manejo convencional é caracterizado pelo uso intensivo de concentrados e silagem, promovendo maior produtividade, enquanto o manejo orgânico, baseado em pastagens e menor interferência química, favorece uma composição lipídica mais equilibrada e maiores teores de imunoglobulinas no colostro (PACCHIAROTTI; MENDES; FERREIRA, 2020).

A β -caseína A2 ganhou destaque nos últimos anos devido a estudos que indicam que sua digestão não gera a β -casomorfina-7 (BCM-7), um peptídeo bioativo associado a potenciais efeitos pró-inflamatórios e desconfortos gastrointestinais, comuns ao leite contendo β -caseína A1 (JIANQIN *et al.*, 2016). Como resultado, muitos produtores têm investido na seleção genética para obter rebanhos compostos exclusivamente por vacas A2A2, garantindo a produção desse leite diferenciado. Além disso, o leite A2 tem sido apontado como uma alternativa viável para consumidores que apresentam desconfortos relacionados à digestão do leite convencional, podendo ser um diferencial de mercado para a pecuária leiteira (SUN *et al.*, 2016 *apud* SOUSA 2022)

Outro aspecto importante na produção leiteira é a influência da ordem de lactação na composição do leite e colostro. Vacas em diferentes estágios de lactação apresentam variações significativas nos teores de gordura, proteína e lactose,

impactando diretamente a qualidade do produto final. Estudos apontam que vacas mais experientes possuem maior eficiência metabólica, o que pode favorecer a composição nutricional do leite e colostro (OLIVEIRA, 2022).

O setor leiteiro enfrenta desafios relacionados à sustentabilidade e à necessidade de produção eficiente aliada ao bem-estar animal. A adoção de práticas que conciliem produtividade e qualidade tem se tornado essencial para garantir a competitividade no mercado. A certificação de leite A2 surge como uma estratégia para agregar valor ao produto, assegurando rastreabilidade e autenticidade ao consumidor (CNA, 2023). No entanto, a falta de regulamentação específica para o leite A2 no Brasil ainda é um fator limitante para a expansão desse mercado.

Neste contexto, busca-se analisar a influência dos sistemas de manejo na composição do leite e do colostro de vacas mestiças com o genótipo A2A2. Além de avaliar as diferenças entre os sistemas CON e ORG em parâmetros nutricionais e tecnológicos do leite A2, destacando o impacto da ordem de lactação e a importância de práticas sustentáveis na pecuária leiteira. Além disso, pretende-se contribuir para a compreensão dos benefícios potenciais do leite A2 para o consumidor, bem como fornece embasamento para futuras diretrizes regulatórias voltadas à certificação e comercialização desse produto no Brasil.

A dissertação foi estruturada conforme as normas para elaboração de dissertações do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia Tropical da UFPI de acordo com a seguinte organização: INTRODUÇÃO GERAL; CAPÍTULO 1: Artigo científico intitulado: Influência do manejo na composição do leite e colostro de vacas mestiças A2; elaborado de acordo com as normas da *Revista Científica de Produção Animal* e CAPÍTULO 2: Artigo científico intitulado: Aspectos físico-químicos e nutricionais do leite A2 sob diferentes sistemas de produção; elaborado de acordo com as normas da *Revista Ciência Animal Brasileira*; e CONSIDERAÇÕES FINAIS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CNA - Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. **Protocolo Vacas A2A2. 2023**. Disponível em: <<https://cnabrasil.org.br/protocolo-vacas-a2a2-2>>. Acesso em: 24 out. 2023.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Dairy Market Review: Emerging trends and outlook**. Rome: FAO. 2022. 16p. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/216a61b1-e819-4fde-bd5f-1ad220dc2db7/content>. Acesso em: 14 jan. 2025.

FERREIRA, V.N.P.; PICHARA, W.G.; VALENTE, G.L.C. Efeito hipoalergênico das proteínas do leite A2A2. **Research, Society and Development**, v.13, n.5, e2513545732, p.1-7, 2024.

JIANQIN, S. *et al.* Effects of milk containing only A2 beta casein versus milk containing both A1 and A2 beta casein proteins on gastrointestinal physiology, symptoms of discomfort, and cognitive behavior of people with self-reported intolerance to traditional cows' milk. **Nutrition Journal**, v.15, n.35, p.1-16, 2016.

OLIVEIRA, S.J.M. *et al.* **Pecuária leiteira de precisão: Análise do leite - Inflação do leite de 2020 a 2022**. Anuário Leite. São Paulo: EMBRAPA. 2022. p.1-115.

PACCHIAROTTI, V.; MENDES, J.; FERREIRA, L. Produção do leite A2 e melhoramento genético do rebanho. **Revista Interdisciplinar de Saúde e Educação**, v.1, n.2, 2020.

SIQUEIRA, K.B. **O mercado consumidor de leite e derivados**. Ed. 120, Juiz de Fora: EMBRAPA, 2019.

SOUSA, F.A.L. **Diferenciais do leite A2A2 e aplicabilidade**. 2022. 19f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Medicina Veterinária) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2022.

CAPÍTULO I

Influência do manejo na composição do leite e colostro de vacas mestiças A2

Conforme as normas da:
Revista Científica de Produção Animal

Influência do manejo na composição do leite e colostro de vacas mestiças A2

RESENDE, K.V.M.S. ^{a*}, CAVALCANTE, T.V. ^b

^a Mestranda em Zootecnia Tropical, Pós-Graduação em Zootecnia Tropical, Universidade Federal do Piauí - UFPI, Campus Ministro Petrônio Portela, Teresina, Piauí, Brasil.

^b Professora Adjunta, Departamento de Zootecnia Tropical, Universidade Federal do Piauí - UFPI, Campus Ministro Petrônio Portela, Teresina, Piauí, Brasil.

*Autor correspondente: K.V.M.S Resende; E-mail: kathleen.resende@ufpi.edu.br.

Resumo: A produção de leite A2 tem ganhado destaque devido às suas propriedades nutricionais e à crescente demanda por produtos lácteos funcionais. Dentre os fatores que impactam a composição do leite e colostro, os sistemas de manejo adotados desempenham papel crucial. Este estudo tem como objetivo analisar as diferenças entre os sistemas de manejo convencional e orgânico na qualidade do leite e colostro de vacas mestiças A2, com ênfase nos parâmetros físico-químicos. O manejo convencional, caracterizado pelo uso intensivo de concentrados e silagens, promove maior produtividade, mas pode comprometer a composição nutricional do leite e colostro, reduzindo os teores de ácidos graxos insaturados e componentes bioativos. Em contrapartida, o manejo orgânico, baseado em pastagens frescas e menor interferência química, favorece uma composição lipídica mais equilibrada e concentrações mais elevadas de imunoglobulinas no colostro. Além disso, os sistemas de manejo afetam diretamente a estabilidade da lactose, a densidade do leite e a distribuição de sólidos não gordurosos. A seleção de vacas A2A2 e a adoção de sistemas sustentáveis são estratégias fundamentais para atender às exigências do mercado e garantir um produto de maior qualidade nutricional. Os resultados deste estudo reforçam a importância de um manejo adequado na produção de leite A2 e suas implicações para a saúde animal e humana.

Palavras-chave: manejo animal, produção leiteira, sustentabilidade, qualidade nutricional

Influence of management on the composition of milk and colostrum of A2 crossbred cows

Abstract: A2 milk production has gained prominence due to its nutritional properties and the growing demand for functional dairy products. Among the factors impacting milk and colostrum composition, management systems play a crucial role. This study aims to analyze the differences between conventional and organic management systems in the quality of milk and colostrum from A2 crossbred cows, focusing on physicochemical parameters. Conventional management, characterized by the intensive use of concentrates and silages, promotes higher productivity but may compromise the nutritional composition of milk and colostrum, reducing levels of unsaturated fatty acids and bioactive compounds. In contrast, organic management, based on fresh pastures and reduced chemical interference, favors a more balanced lipid composition and higher immunoglobulin concentrations in colostrum. Additionally, management systems directly affect lactose stability, milk density, and the distribution of non-fat solids. The selection of A2A2 cows and the adoption of sustainable systems are key strategies to meet market demands and ensure a higher nutritional quality product. The results of this study reinforce the importance of proper management in A2 milk production and its implications for both animal and human health.

Key words: animal management, dairy production, sustainability, nutritional quality

1. Introdução

A produção de leite bovino é uma atividade de grande importância econômica e nutricional no Brasil, país que se destaca como um dos maiores produtores mundiais desse alimento. Nos últimos anos, tem-se observado um interesse crescente pelo leite A2, que se diferencia do leite convencional pela presença exclusiva da beta-caseína A2 em sua composição proteica. Estudos mostram que o consumo de leite A2 pode estar associado a uma melhor digestibilidade e a uma menor incidência de desconfortos gastrointestinais em indivíduos sensíveis (FERREIRA; PICCHARA; VALENTE, 2024).

Historicamente, as vacas produziam apenas a beta-caseína A2; entretanto, uma mutação genética ocorrida há milhares de anos foi comprovada na variante A1 dessa proteína. Atualmente, a presença dos alelos A1 e A2 varia entre as raças bovinas. Por exemplo, raças zebuínas, predominantemente na pecuária brasileira, apresentam uma alta frequência do alelo A2, o que representa uma vantagem competitiva para as produções nacionais específicas na produção de leite A2 (PACCHIAROTTI; MENDES FERREIRA, 2020).

Para a produção exclusiva de leite A2, é necessário implementar programas de melhoramento genético que visem a seleção de animais homozigotos para o alelo A2 (A2A2). Técnicas como a inseminação artificial e a fertilização *in vitro*, aliadas à genotipagem dos rebanhos, são fundamentais nesse processo. A seleção de vacas A2A2 e o uso de touros com o mesmo genótipo garantem a obtenção de descendentes com capacidade de produzir apenas a beta-caseína A2, acelerando a conversão do rebanho para a produção desse tipo de leite (PACCHIAROTTI; MENDES; FERREIRA, 2020).

Além dos aspectos produtivos, a produção de leite A2 atende a uma demanda crescente por alimentos que promovam benefícios à saúde. Embora ainda sejam permitidas mais pesquisas para confirmar todos os efeitos do consumo de leite A2 em humanos, a possibilidade de oferecer um produto com potencial para reduzir desconfortos digestivos amplia as oportunidades de mercado para os produtores brasileiros (FERREIRA; PICCHARA; VALENTE, 2024).

Diante desse cenário, este capítulo tem como objetivo explorar os avanços e desafios relacionados à produção de leite A2 no Brasil, com ênfase nas estratégias e suas respectivas implicações do melhoramento genético animal neste setor.

2. Evolução da indústria láctea no Brasil

O leite é um dos alimentos mais consumidos em todo o mundo, liderando o *ranking* global com um consumo médio de 116 kg per capita ao ano, segundo dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) (BHAT *et al.*, 2022). No Brasil, a pecuária leiteira teve início em 1532, quando Martim Afonso de Souza e Ana Pimentel trouxeram os primeiros bovinos europeus para o país. Esse evento marcou o começo de um processo que, séculos depois, transformaria o Brasil em um grande produtor de leite (ALVES *et al.*, 2017; EMBRAPA, 2019).

Somente após 300 anos da chegada dos primeiros bovinos a pecuária leiteira começou a se expandir de maneira significativa. Esse crescimento foi impulsionado pela crise no cultivo do café e pelas oportunidades políticas para modernizar as fazendas. A abolição da escravidão, em 1888, também foi um fator decisivo para o desenvolvimento da pecuária em várias regiões do país. A partir de 1950, avanços tecnológicos como a pasteurização e a melhoria das condições sanitárias de ordenha contribuíram para consolidar o setor lácteo (ALVES *et al.*, 2017).

Em 1952, com o Decreto Nº 30.691, foi instituído o Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA). Esse marco regulamentou a qualidade do leite, tornando obrigatória a inspeção e o tratamento térmico, além de estabelecer o selo do Serviço de Inspeção Federal (SIF). Na época, o leite foi classificado em três categorias (A, B e C), considerando critérios como higiene, armazenamento e contagem de microrganismos (BRASIL, 1952; ALVES *et al.*, 2017; LIMA *et al.*, 2020).

Atualmente, os leites tipo B e C não são mais comercializados. O leite tipo B era produzido em estábulos com ordenha mecânica, transportado para usinas e pasteurizado após um período de até 48 horas sob refrigeração, com contagem bacteriana limitada a 4×10^4 UFC.mL⁻¹. Por outro lado, o leite tipo C era coletado de diferentes propriedades, com ordenha manual ou mecânica e transporte sem refrigeração, apresentando um maior número de microrganismos (BRASIL, 1952; TIMM; OLIVEIRA, 2005; KOBLITZ, 2014).

Na década de 1990, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) lançaram o Programa Nacional de Melhoria da Qualidade do Leite (PNQL). Este programa estabeleceu diretrizes importantes, como o transporte a granel refrigerado e o monitoramento da qualidade físico-química do leite. Em 1999, a Portaria Nº 56

consolidou critérios de qualidade para fortalecer o setor e orientar os produtores (BRASIL, 1999; LIMA, 2020).

Com mudanças no estilo de vida da população a partir dos anos 2000, o mercado lácteo evoluiu para atender à demanda por alimentos mais práticos e nutritivos. A Instrução Normativa (IN) Nº 51 de 2002 estabeleceu regras para diferentes tipos de leite, como o tipo A, B e C, além do leite pasteurizado e cru refrigerado. Em 2011, essa normativa foi substituída pela IN Nº 62, que passou a adotar apenas as categorias leite tipo A e leite cru refrigerado (BRASIL, 2002; 2011).

Hoje, o leite tipo A é reconhecido como o de maior qualidade. Ele é produzido mecanicamente, apresenta uma baixa contagem de microrganismos e é processado e envasado na própria granja leiteira, obedecendo a padrões técnicos rigorosos, como armazenamento a 5°C e limites específicos de contagem bacteriana (BRASIL, 2018).

Nos últimos anos, o setor lácteo tem se adaptado às demandas do mercado e atualizado suas normativas. A IN Nº 76 de 2018 definiu critérios de qualidade para o leite cru refrigerado, pasteurizado e tipo A, enquanto a IN Nº 77 estabeleceu diretrizes para produção, transporte e armazenamento do leite cru. Mais recentemente, a IN Nº 55 de 2020 trouxe novos parâmetros microbiológicos para garantir maior segurança e qualidade da matéria-prima (BRASIL, 2018; 2020).

Atualmente, o consumidor tem acesso a diferentes tipos de leite no mercado, como o pasteurizado e o UHT. O processo de pasteurização consiste em aquecer o leite a temperaturas específicas (75°C por 15 a 20 segundos ou 62-68°C por 30 minutos), conferindo uma vida útil de até cinco dias sob refrigeração. Já o processo UHT eleva a temperatura para 135 a 150°C, por 2 a 4 seg. (segundos), garantindo uma validade de até 180 dias. Além disso, há opções como leite zero lactose, enriquecido com cálcio (Ca) ou proteínas (PROT), aromatizado e leite em pó, todos devidamente regulamentados para garantir a segurança do consumidor (KOBELITZ, 2014; PEREIRA, 2022).

3. Panorama da produção e do consumo de leite e derivados

O leite é um dos produtos agropecuários mais comercializados globalmente e ocupa uma posição de destaque entre as principais *commodities*. Aproximadamente 10% da população mundial depende diretamente da produção leiteira, com cerca de 1 bilhão de pessoas utilizando a cadeia produtiva do leite como fonte de subsistência,

e 600 milhões vivendo em 133 milhões de propriedades leiteiras ao redor do mundo (GDP, 2018; SIQUEIRA, 2019).

Além de seu valor nutricional para a sociedade, o leite desempenha um papel essencial na economia global. Ele representa um meio de subsistência sustentável e uma importante fonte de renda para pequenos produtores e comunidades agrícolas. A produção leiteira, juntamente com a bovinocultura, está alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), por meio de práticas que promovem impactos positivos no âmbito social e econômico (SIQUEIRA, 2019). Segundo o Centro de Inteligência do Leite da Embrapa Gado de Leite, a produção nacional de leite no Brasil tem oscilado entre 33,3 e 35,3 bilhões de litros por ano (EMBRAPA, 2023).

Nos últimos 50 anos, a produção leiteira brasileira apresentou um crescimento significativo, mesmo diante de cenários econômicos desafiadores. Em 2019, o setor formal (registrado e inspecionado) produziu 34,8 bilhões de litros. Em 2020, houve um aumento de 2,1% em relação ao ano anterior, atingindo 35,5 bilhões de litros, o que representou um marco histórico desde 1974, superando o recorde de 2014, quando foram produzidos 35,1 bilhões de litros (CHEQUER, 2022).

Projeções divulgadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) em 2018 indicaram um crescimento anual de 2,1% na produção de leite, podendo atingir uma taxa de até 3,3%. Isso resultaria em uma produção de 48 bilhões de litros até 2028 (CHEQUER, 2022). No cenário global, o consumo médio de leite fluido por pessoa é de aproximadamente 44,44 litros ao ano (GDP, 2018).

No Brasil, o consumo per capita, incluindo o setor informal, varia entre 167 e 176 litros anuais. Nos últimos anos, a cadeia produtiva do leite enfrentou desafios relacionados à alta inflação, que impactaram a renda das famílias brasileiras e reduziram seu poder de compra. Com o preço do leite aumentando cerca de 45% nos últimos três anos, o consumo médio no país diminuiu em até 5 litros por pessoa, evidenciando os impactos econômicos sobre a demanda do produto (ZOCCAL, 2013; OLIVEIRA *et al.*, 2022).

4. Conceito e caracterização do leite

Do ponto de vista biológico, o leite é uma secreção natural das glândulas mamárias das fêmeas mamíferas, cuja principal função é nutrir os filhotes após o nascimento. Já sob o aspecto físico-químico, o leite pode ser descrito como uma

solução homogênea composta por uma variedade de substâncias, incluindo água, lactose, lipídios, proteínas, minerais e vitaminas. Essas substâncias encontram-se organizadas em diferentes estados físicos, como suspensão coloidal, emulsão, dispersão coloidal e solução verdadeira (ORDÓÑEZ, 2005; KOBLITZ, 2014).

No contexto legal brasileiro, o leite é definido como o produto obtido por meio da ordenha completa e ininterrupta de vacas saudáveis, realizadas sob condições higiênicas adequadas, garantindo que os animais estejam bem alimentados e descansados (BRASIL, 2011).

5. Aspectos da composição do leite

O leite, em seu estado natural, apresenta-se como um líquido de coloração branco-opaca, com possibilidade de variação para um tom levemente amarelado, e possui aroma e sabor característicos, suavemente adocicados. Do ponto de vista físico-químico, suas características incluem densidade entre 1,028 e 1,036 g.mL⁻¹, índice de refração entre 38 e 48, ponto de congelamento variando de -0,55 a -0,75°C, ebulição a 101°C e pH na faixa de 6,3 a 6,7 quando medido a 25°C (LIMA, 2010; KOBLITZ, 2014).

O valor nutricional do leite é atribuído à sua composição, formada por biomoléculas organizadas em estruturas altamente complexas. Essas estruturas incluem micelas de caseína e partículas de lipoproteínas do soro em suspensão coloidal, proteínas globulares do soro em dispersão coloidal, glóbulos de gordura associados a vitaminas lipossolúveis em emulsão, além de lactose, minerais e vitaminas hidrossolúveis dissolvidos em água em forma de solução verdadeira (ORDÓÑEZ, 2005).

Diversos fatores, como genética, estado fisiológico, dieta, condições ambientais e práticas de manejo, podem influenciar a composição do leite (KOBLITZ, 2014). A Tabela 1 ilustra as composições médias do leite de vaca leiteiras.

Tabela 1. Variações na composição físico-química do leite conforme as diferentes raças leiteiras.

RACAS LEITEIRAS	ITENS DE COMPOSIÇÃO (g.100g ⁻¹)					
	Gordura	Proteína	Lactose	Matéria Mineral	Sólidos Não Gordurosos	Sólidos Totais
Ayrshire	3,90	3,40	4,81	0,68	8,89	12,79
Pardo Suíço	3,30	3,00	5,08	0,72	8,80	12,10
Guernsey	3,60	3,20	4,96	0,74	8,90	12,50
Holstein	3,40	3,20	4,87	0,68	8,75	12,15
Jersey	4,40	3,60	5,00	0,70	9,30	13,70
Zebu	4,90	3,90	5,10	0,80	9,80	14,70

Fonte: SILVA (2021).

Os critérios físico-químicos do leite no Brasil são definidos pelo Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA) (BRASIL, 2017) e pela Instrução Normativa Nº 76 (BRASIL, 2018). A Tabela 2 demonstra como os tais parâmetros são fundamentais para a avaliação da qualidade composicional do leite.

Tabela 2. Elementos da composição físico-química do leite

PARÂMETROS	REQUISITOS
Lipídios	Teor mínimo de 3,00 g.100g ⁻¹ (três gramas por cem gramas)
Proteínas	Teor mínimo de 2,90 g.100g ⁻¹ (dois inteiros e nove décimos de gramas por cem gramas)
Lactose	Teor mínimo de 4,30 g.100g ⁻¹ (quatro inteiros e três décimos de gramas por cem gramas)
Sólidos Não Gordurosos	Teor mínimo de 8,40 g.100g ⁻¹ (oito inteiros e quatro décimos de gramas por cem gramas)
Sólidos Totais	Teor mínimo de 11,40 g.100g ⁻¹ (onze inteiros e quatro décimos de gramas por cem gramas)

Fonte: BRASIL (2017; 2018) *apud* SILVA (2021).

A composição do leite é um fator essencial para indicar sua qualidade nutricional, sendo necessário considerar os sistemas de manejo, as concentrações utilizadas, as variações sazonais e seus impactos no perfil de ácidos graxos (SANT'ANA *et al.*, 2019; SILVA, 2021).

5.1 Água

A água é o principal componente do leite, representando, em média, 87,1% de sua composição total. Esse alto teor de água confere ao leite seu estado físico líquido e uma densidade de 1 g.mL⁻¹ a 3,98°C. A água é essencial para várias reações

químicas e para a solubilização de diferentes compostos presentes no leite (COSTA JÚNIOR, 2023).

Entretanto, quando a água se liga aos componentes do leite, especialmente às proteínas, ela perde a capacidade de congelamento, deixando de estar disponível para essas reações e para a solubilização de substâncias. Como resultado, a atividade de água (A_w) do leite diminui, variando entre 0,85 e 0,99 (KOBBLITZ, 2014).

5.2 Lipídios

Os lipídios, presentes no leite em concentrações que variam de 3 a 5%, são uma importante fonte de energia. A quantidade dessa fração lipídica pode ser influenciada por vários fatores, como a raça do animal, o ambiente geográfico, a fase da lactação, a alimentação, o manejo dos animais e as variações sazonais. Dentro dos ácidos graxos encontrados no leite, estão o ácido mirístico (8 a 15%), o ácido palmítico (20 a 32%), o ácido esteárico (7 a 15%) e o ácido oleico (15 a 30%) (KOBBLITZ, 2014).

Do ponto de vista econômico, os lipídios no leite têm relevância, pois muitas indústrias utilizam o teor de gordura como critério para pagamento aos seus fornecedores. Nutricionalmente, eles são essenciais por fornecerem energia, além de vitaminas A e D, e ácidos graxos fundamentais para a alimentação humana. No aspecto tecnológico, os lipídios desempenham papéis cruciais em diversos processos na indústria de laticínios, como no controle de textura, aglutinação, hidrólise, coalescência, lubrificação e cremosidade (ORDÓÑEZ, 2005).

Os lipídios no leite são encontrados na forma de glóbulos, que possuem diâmetros entre 0,1 e 20 μm e são envoltos por uma membrana lipoprotéica. Esta estrutura impede a separação de fases, a floculação e a ação de enzimas. Em média, o leite contém cerca de 10^{10} glóbulos de gordura por mililitro, com densidade de $0,930 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ a 15°C , ponto de fusão entre 31 e 36°C , e ponto de solidificação entre 25 e 30°C (DAMODARAN; PARKIN, 2019).

O ácido linoleico conjugado (CLA) consiste em vários isômeros do ácido linoléico ($18:2n-6$), encontrados principalmente em produtos lácteos e cárneos devido à sua síntese no rúmen de animais ruminantes. Já foram identificados 27 isômeros, sendo o ácido rumênico o mais predominante, representando aproximadamente 90% do CLA, especialmente em leite e derivados, com propriedades potencialmente anticarcinogênicos (COSTA JÚNIOR, 2023).

O isômero cis-10, trans-12 do CLA também é reconhecido por suas propriedades bioativas, como a capacidade de promover a utilização de nutrientes na síntese de proteínas e reduzir a formação de gordura. Além disso, é associado à prevenção do câncer de cólon, à diminuição dos níveis de colesterol e triglicerídeos, e à proteção contra arteriosclerose. Apresenta ainda efeitos anti-inflamatórios, fortalece o sistema imunológico e tem sido relacionado à redução do risco de asma e Alzheimer (COSTA JÚNIOR, 2023).

A concentração de CLA varia conforme a espécie produtora de leite, com os bubalinos apresentando os maiores teores, entre 0,90 e 0,98 g.100g⁻¹, enquanto os bovinos apresentam de 0,65 a 0,70 g.100g⁻¹. Para aproveitar os benefícios do CLA, é recomendada uma ingestão diária de 3 a 6 g, mas estima-se que a população brasileira consuma apenas 36 mg.dia⁻¹. Dessa forma, é importante o desenvolvimento de produtos enriquecidos com CLA (COSTA JÚNIOR, 2023).

No mercado de laticínios, a quantidade de gordura do leite é padronizada e classificada em diferentes tipos: leite integral (com 3% de gordura), semi-desnatado (com 0,6 a 2,9% de gordura) e desnatado (com até 0,5% de gordura). A determinação desses teores é feita durante a etapa de padronização, utilizando equipamentos como as centrífugas desnatadeiras (STEPHANI; PERRONE, 2012).

5.3 Proteínas

O nitrogênio presente no leite é distribuído da seguinte forma: 76% em caseínas, 18% em proteínas do soro e 6% em nitrogênio não proteico. Essas substâncias desempenham funções biológicas essenciais, como a formação de tecidos musculares e a atuação das enzimas, que catalisam reações químicas, alterando suas velocidades. Além disso, essas proteínas têm propriedades tecnológicas valiosas para a indústria alimentícia, como a capacidade de formar gel, espuma e emulsões, entre outras (KOBLOITZ, 2014).

O leite contém entre 30 e 36 g.L⁻¹ de proteína total, que se distribuem entre as proteínas do soro (como β -lactoglobulina, α -lactalbumina, albumina do soro bovino (BSA), proteose peptonas, albumina sérica e imunoglobulinas) e as frações de caseína, incluindo: α _{S1}-caseína, α _{S2}-caseína, β -caseína e κ -caseína (Tabela 3) (COSTA JÚNIOR, 2023).

Tabela 3. Teor de proteínas no leite bovino

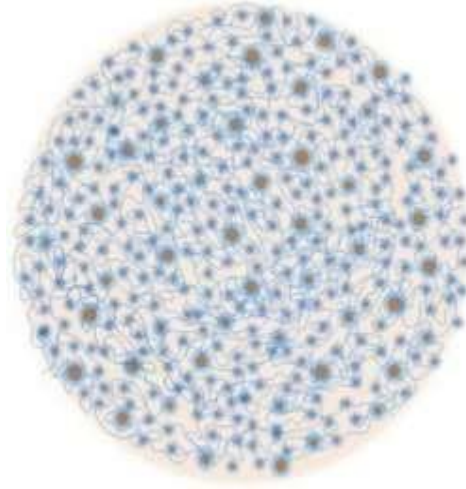
PROTEÍNA	CONCETRAÇÃO (g.L ⁻¹)
Caseína Total	26,00
α_{S1} -caseína	10,00
β -caseína	9,30
α_{S2} -caseína	2,60
κ -caseína	3,30
γ -caseína	0,80
Proteínas do Soro	6,30
β -lactoalbumina	3,20
α -lactoalbumina	1,20
Proteose Peptonas	0,80
Albumina do Soro Bovino (BSA)	0,40
Imunoglobulinas	0,60 - 1,00
Albumina sérica	0,10 - 0,40

Fonte: COSTA JÚNIOR (2023); KOBLITZ (2014).

As caseínas no leite estão presentes em um único complexo proteico esférico, altamente hidratado, conhecido como micela de caseína (DAMODARAN; PARKIN, 2019). Com diâmetro variando entre 40 e 300 nm, a micela de caseína é composta por cerca de 100 submicelas, que são agregados esféricos menores. Nessas submicelas, as moléculas de caseína são mantidas juntas por interações hidrofóbicas e ligadas entre si por fosfato de cálcio coloidal. Estima-se que a cada 1 mL de leite existem aproximadamente 10^{15} micelas (COSTA JÚNIOR, 2023).

A estrutura da micela de caseína apresenta uma conformação curvada e retorcida, característica da presença de resíduos de prolina, o que impede a formação de novelos e a organização de arranjos de estrutura secundária. Ao longo dos anos, diferentes pesquisadores representaram essa conformação complexa por meio de ilustrações, sendo que o modelo mais recente foi proposto por Kruif *et al.* (2012). Este modelo, conhecido como “nanoclusters”, descreve as micelas de caseína como partículas compostas por uma matriz proteica homogênea (representada em azul), com núcleos de fosfato de cálcio coloidal (representados em laranja) distribuídos de forma aleatória, como ilustrado na Figura 1 (SILVA, 2019).

Figura 1. Configuração molecular da micela de caseína.



Fonte: SILVA (2019).

As caseínas formam um grupo de fosfoproteínas predominantes no leite, sendo a β -caseína uma das mais relevantes. Esse componente pode sofrer hidrólise pela ação da plasmina, convertendo-se em α -caseína. O que diferencia essas frações proteicas é sua característica de insolubilidade em valores de pH iguais ou inferiores a 4,6, ponto isoelétrico dessas proteínas (ORDÓÑEZ, 2005).

Quanto à sua composição, as caseínas são classificadas como proteínas conjugadas, apresentando grupamentos fosfato esterificados a resíduos de serina, fundamentais para a formação da estrutura micelar. A distribuição não homogênea dos aminoácidos nessas proteínas resulta em regiões polares e apolares, o que lhes confere propriedades emulsificantes e espumantes, proporcionando estabilidade estrutural devido à presença de domínios hidrofóbicos e hidrofílicos (DAMODARAN; PARKIN, 2019).

A estabilidade térmica do leite pode ser afetada pela integridade da estrutura micelar das caseínas. Quando essa estrutura é alterada, ocorre a dissociação das moléculas, tornando-as insolúveis e promovendo a formação de coágulos. Esse processo é a base para a fabricação de produtos lácteos como queijos e iogurtes (KOBBLITZ, 2014).

A composição das caseínas varia de acordo com fatores genéticos e pode ser identificada por meio do sequenciamento químico. No leite bovino, quatro principais frações são encontradas: α_{S1} -caseína, α_{S2} -caseína, β -caseína e κ -caseína. A β -caseína representa cerca de 30% do total proteico e pode apresentar variantes genéticas, denominadas β -caseína A1 e A2, que determinam a classificação do leite como A1 ou A2 (DAMODARAN; PARKIN, 2019).

A α -caseína é composta por 209 resíduos de aminoácidos, sendo 35 de prolina, o que a torna altamente hidrofóbica e menos organizada estruturalmente. Essa característica possibilita sua autoassociação, formando grandes polímeros a temperaturas próximas de 20°C. Já a κ -caseína desempenha papel essencial na estabilização das micelas de caseína e auxilia no processo de coagulação enzimática do leite, facilitado pela quimosina, uma enzima essencial para a digestão e a produção de queijos (DAMODARAN; PARKIN, 2019).

As proteínas do soro do leite representam cerca de 20% do conteúdo proteico total, sendo que a β -lactoglobulina e a α -lactoalbumina correspondem a aproximadamente 80% desse valor. Essas proteínas apresentam estruturas globulares e tridimensionais que são altamente sensíveis ao calor, promovendo a retenção de água e contribuindo para a funcionalidade tecnológica dos produtos lácteos. Além disso, a degradação parcial das caseínas pode resultar na formação de fragmentos proteicos, como as proteoses-peptonas, que também estão presentes entre as proteínas do soro (COSTA JÚNIOR, 2023).

A α -lactoalbumina, uma proteína globular composta por 123 resíduos de aminoácidos e quatro ligações dissulfídicas, apresenta elevado teor de triptofano. Sua desnaturação térmica pode resultar na formação de compostos antioxidantes, enquanto seu papel biológico está associado à regulação da síntese de lactose. Já a β -lactoglobulina, composta por 162 resíduos de aminoácidos, possui propriedades tecnológicas significativas, uma vez que sua interação com a κ -caseína durante o processamento térmico pode comprometer a coagulação enzimática do leite, impactando produtos como o leite UHT (DAMODARAN; PARKIN, 2019).

Outras proteínas presentes no leite incluem a albumina sérica bovina (BSA) e as imunoglobulinas. A BSA é composta por 582 resíduos de aminoácidos e apresenta resistência térmica intermediária em comparação com outras proteínas do soro. As imunoglobulinas, por sua vez, desempenham papel fundamental na defesa imunológica, sendo mais abundantes no colostro e classificadas em diferentes subtipos, como IgA, IgM e IgG, de acordo com sua função e concentração no leite (ORDÓÑEZ, 2005).

A lactoferrina é uma glicoproteína presente no leite de diversos animais, incluindo bovinos e bubalinos, com peso molecular de aproximadamente 80 kDa. Ela desempenha um papel importante no sistema imunológico, exibindo atividades antimicrobianas contra bactérias, vírus, fungos e parasitas, além de possuir

propriedades anti-inflamatórias e anticancerígenas. Devido a essas características, a lactoferrina tem sido considerada um aditivo valioso em medicamentos, alimentos e cosméticos, incluindo produtos de saúde e fórmulas infantis (MELO, 2022).

No contexto da nutrição animal, a lactoferrina tem sido estudada por suas propriedades antimicrobianas, que podem contribuir para a saúde gastrointestinal dos animais. Sua capacidade de se ligar ao ferro impede que microrganismos patogênicos utilizem esse mineral para seu metabolismo, exercendo, assim, um efeito bacteriostático. Além disso, a lactoferrina pode modular o sistema imunológico, promovendo uma resposta mais eficiente contra infecções (QUEIROZ; ASSIS; COSTA, 2013).

Essas propriedades tornam a lactoferrina uma candidata promissora para aplicações na nutrição animal, visando melhorar a saúde e o desempenho dos animais de produção. No entanto, mais pesquisas são necessárias para determinar as doses eficazes e as melhores formas de administração dessa proteína em diferentes espécies animais.

As principais diferenças entre as caseínas e as proteínas do soro do leite incluem a capacidade das primeiras de formar coágulos na presença de enzimas específicas, enquanto as proteínas do soro permanecem solúveis em pH próximo a 4,6. Essas distinções influenciam diretamente as propriedades tecnológicas do leite e de seus derivados (ORDÓÑEZ, 2005; COSTA JÚNIOR, 2023).

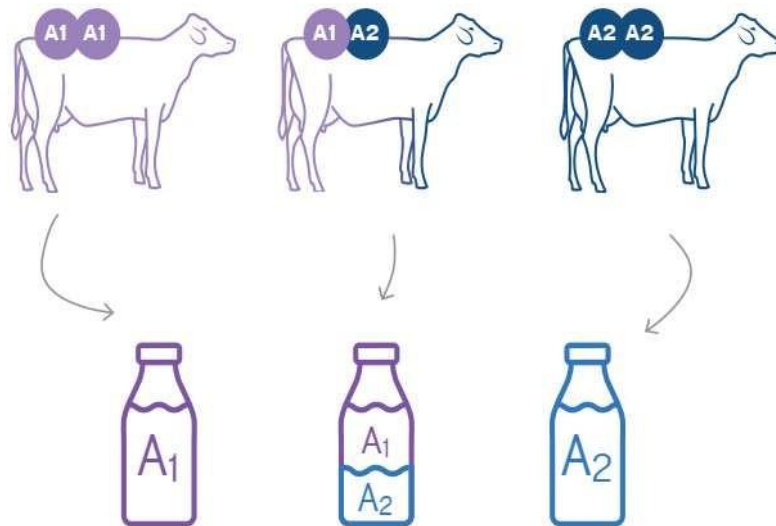
5.4 Lactose

A lactose é o carboidrato mais abundante no leite, sendo classificada como um dissacarídeo composto por D-glicose e D-galactose, conectadas por uma ligação glicosídica do tipo β -1,4. Esse açúcar pode ser encontrado em três formas distintas: amorfa, α e β cristalizadas, sendo os dois últimos apresentados na Figura 2. Sua concentração no leite varia entre 37 e 54 g.L⁻¹, desempenhando diversas funções tecnológicas, como conferir dulçor natural sem necessidade de adição de açúcares externos, influenciar na cristalização de produtos lácteos e apresentar mutarrotação, fenômeno que afeta diretamente sua solubilidade (ORDÓÑEZ, 2005; KOBLITZ, 2014).

Além de ser o principal açúcar do leite, a lactose tem um papel essencial na regulação do volume da secreção láctea, sendo sintetizada no lúmen alveolar da glândula mamária (OLIVEIRA, 2004). Sua produção está diretamente relacionada à quantidade de leite gerada pelo animal, podendo sofrer variações conforme fatores

Nos últimos anos, tem-se observado um crescimento expressivo na oferta e no consumo de leite e derivados identificados como 'A2'. A classificação dos rebanhos como A2A2 indica que os animais possuem exclusivamente a β -caseína na variante A2. No mercado brasileiro, a maioria dos leites comerciais contém a proteína β -caseína, porém, predominantemente na variante A1 ou em uma combinação das formas A1 e A2. Assim, o leite pode ser categorizado como A1A1, quando contém apenas a variante A1, ou A1A2, quando ambas as variantes estão presentes em proporções similares (COSTA JÚNIOR, 2023). A Figura 3 ilustra essas classificações com base no perfil genético dos animais.

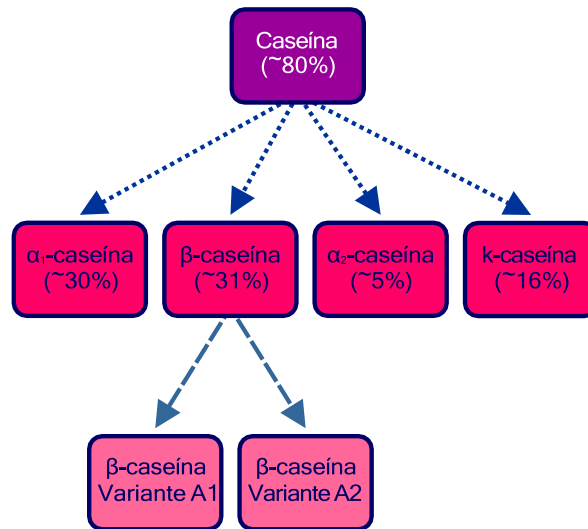
Figura 3. Relação entre o perfil genético do animal e o tipo do leite produzido.



Fonte: FONTES (2019); FERREIRA; MOURA (2024).

Na micela de caseína, a subfração β -caseína representa aproximadamente 30% da proteína total presente no leite bovino, sendo composta por diversas variantes genéticas, entre as quais as mais comuns são A1 e A2 (Figura 4); e o primeiro registro da produção de leite classificado como 'A2A2' ocorreu na Nova Zelândia em 1990, após a identificação dessa característica proteica por médicos na subfração da proteína (COSTA JÚNIOR, 2023).

Figura 4. Tipos de caseína presentes no leite de vaca, incluindo as variantes A1 e A2 da β -caseína.

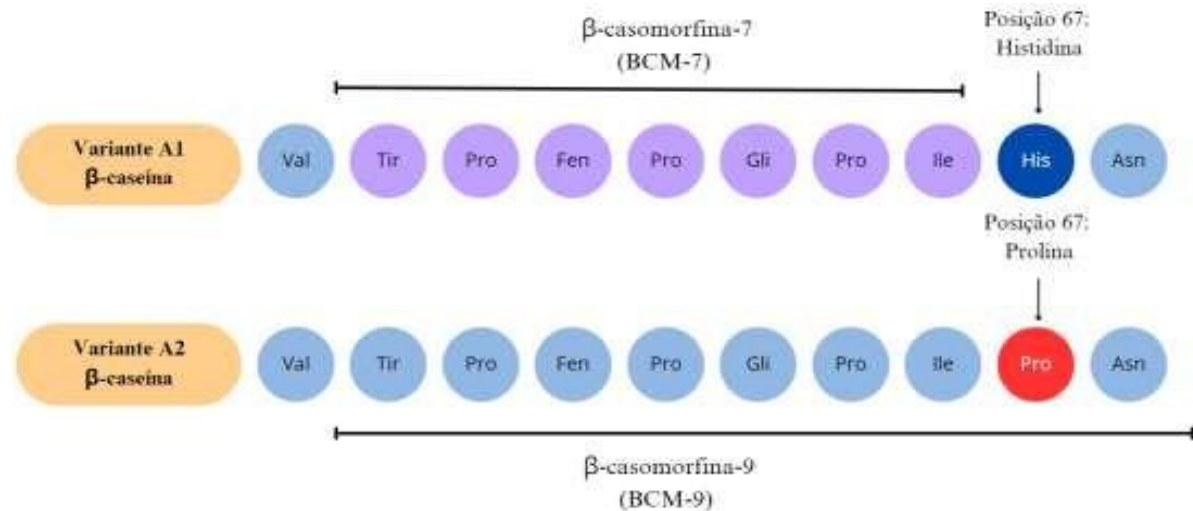


Fonte: FERREIRA; MOURA (2024).

A conformação estrutural da proteína, especialmente em sua estrutura secundária, pode impactar significativamente as propriedades físico-químicas e microestruturais do leite (ELLIOTT *et al.*, 1999). A β -caseína A1 pode estar presente tanto em homozigose (A1A1) quanto em heterozigose (A1A2), sendo denominada 'leite A1'. Por outro lado, a β -caseína A2 ocorre exclusivamente na forma homozigótica (A2A2), sendo conhecida como 'leite A2' (OLIVEIRA, 2022).

Conforme ilustrado na Figura 5, os alelos A1 e A2 diferem-se por apenas um nucleotídeo. Essa variação resulta de um polimorfismo localizado no éxon 7 do sexto cromossomo, onde há uma substituição de aminoácidos na posição 67 da cadeia proteica: prolina na variante A2 e histidina na variante A1. Além dessas, existem outras variantes menos frequentes, como A3, A4, B, C, D, E, F, H1, H2, I e G (CORBUCCI 2017; PACCHIAROTTI, MENDES; FERREIRA, 2020).

Figura 5. Fragmentação das variações genéticas das β -caseínas A1 e A2, ressaltando a disparidade na posição 67, que desempenha um papel crucial na clivagem diferenciada e na liberação de β -casomorfina-7 e β -casomorfina-9.



Fonte: Adaptado de BARBOSA *et al.* (2019).

Embora as variantes de β -caseína apresentem estruturas semelhantes, sua digestão ocorre de maneira distinta devido às diferenças na sequência de aminoácidos da cadeia peptídica, resultando na possível formação de peptídeos bioativos (KAMIŃSKI; CIEŚLIŃSKA; KOSTYRA *et al.*, 2007 *apud* ESCOBAR-CHARRY; QUINTANILLA-CARVAJAL, 2025).

Durante a digestão enzimática no trato gastrointestinal, a presença de histidina (His67) na β -caseína A1 favorece a liberação do peptídeo opioide β -casomorfina-7 (BCM-7). Em contrapartida, a β -caseína A2 contém prolina (Pro67) nessa posição, o que impede ou reduz significativamente a liberação do BCM-7, levando à formação de outro peptídeo, denominado β -casomorfina-9 (BCM-9) (CORBUCCI, 2017; ESCOBAR-CHARRY; QUINTANILLA-CARVAJAL, 2025).

Estudos indicam que, apesar de o BCM-9 também apresentar propriedades opioides, sua afinidade pelos receptores γ -opioides é cerca de 25% menor do que a do BCM-7 (JINSMAA; YOSHIKAWA, 1999; ESCOBAR-CHARRY; QUINTANILLA-CARVAJAL, 2025).

Os receptores γ -opioides são ativados em neurônios entéricos e células epiteliais, desempenhando um papel na regulação da motilidade intestinal, na secreção de muco e na propulsão gastrointestinal (ZOGHBI *et al.*, 2006). Segundo Gonenne *et al.* (2005), a redução da motilidade intestinal está associada à interação dos BCMs com esses receptores, modulando o trânsito intestinal. Além disso,

pesquisas demonstraram que o BCM-9 neutraliza os efeitos gastrointestinais desencadeados pelo BCM-7 (BARNETT *et al.*, 2014). Estudos adicionais também identificaram propriedades anti-hipertensivas no BCM-9 (SAITO *et al.*, 2000).

6.2 Impactos relacionados ao peptídeo BCM-7

O BCM-7 - subproduto resultante da digestão da β -caseína A1 - é classificado como um peptídeo bioativo ou opioide, apresentando efeitos sobre a motilidade gastrointestinal e a secreção gástrica e pancreática (JIANQUIN *et al.*, 2016; BARBOSA *et al.*, 2019); sua sequência de aminoácidos está detalhada na Tabela 4.

Tabela 4. Estrutura da sequência de aminoácidos das β -casomorfinas.

RAÇAS BOVINAS	FRAGMENTOS β -CN	SEQUÊNCIA DA ESTRUTURA
BCM-5	60 - 64	Tir-Pro-Fen-Pro-Gli
BCM-7	60 - 66	Tir-Pro-Fen-Pro-Gli-Pro-Ile
BCM-9	60 - 68	Tir-Pro-Fen-Pro-Gli-Pro-Ile-Pro-Asn

Fonte: Adaptado de BROOKE-TAYLOR *et al.* (2017).

Os peptídeos opioides são compostos bioativos formados durante processos naturais no organismo, em condições laboratoriais e no processamento de alimentos, especialmente em produtos lácteos, como queijos e leites fermentados. Sua geração é influenciada por enzimas proteolíticas, bactérias lácticas e enzimas exógenas, além de fatores como o período de maturação do queijo. Dentre os principais peptídeos opioides derivados das proteínas do leite, destacam-se BCM-5, BCM-7, BCM-8, BCM-9, casoxina e lactoferroxina, entre outros (SMACCHI; GOBETTI, 2000).

As β -casomorfina, pertencentes à classe dos opioides, interagem com receptores específicos no sistema nervoso central e no plexo mioentérico, afetando o funcionamento do trato gastrointestinal. Pesquisas indicam que essas substâncias podem retardar o esvaziamento gástrico e diminuir a velocidade do trânsito intestinal da digesta em diversas espécies (SHOOK; BURKS, 1986; DANIEL *et al.*, 1990). Essas evidências sugerem um possível papel das β -casomorfina na regulação da sensação de saciedade (HAUTEFEUILLE *et al.*, 1986).

A BCM-7, em especial, é conhecida por ativar receptores opioides localizados no trato digestivo e em outros sistemas do organismo, sendo apontada como um fator de risco para o desenvolvimento de reações adversas, como alergia ao leite e desconfortos gastrointestinais durante a digestão (ELLIOTT, 1999; McLACHLAN, 2001; LAUGESSEN; ELLIOTT, 2003; WOODFORD, 2007). No entanto, apesar dessas

associações, alguns estudos não identificaram evidências conclusivas que comprovem essa relação (HUNTER *et al.*, 2003; TRUSWELL, 2005; CHIN-DUSTING *et al.*, 2006; CASS *et al.*, 2008). Além disso, algumas pesquisas indicam que determinados problemas digestivos podem estar mais relacionados à intolerância à lactose do que à presença da β -caseína A1 (PAL *et al.*, 2015).

Embora a diferença estrutural entre as β -caseínas A1 e A2 se resuma a uma única substituição molecular em sua sequência de 209 aminoácidos, essa pequena variação pode impactar significativamente os processos metabólicos e a digestão em humanos; onde o leite certificado com o genótipo A2A2 tem se tornado cada vez mais reconhecido no mercado nacional, sendo associado a uma digestibilidade superior e a menores riscos de desencadear reações alérgicas à proteína do leite, diferenciando-se, assim, das variedades que contêm β -caseína A1 (KUMAR *et al.*, 2021).

6.3 Distúrbios gastrointestinais: intolerância à lactose e alergia às proteínas do leite

Pal *et al.* (2015) relatam que sintomas relacionados ao consumo de leite contendo β -caseína A1 estão associados à intolerância à lactose. Muitas vezes, há confusão entre intolerâncias alimentares e alergias, embora sejam condições distintas. A intolerância à lactose é um distúrbio comum em grande parte da população mundial e ocorre devido à deficiência da enzima lactase, responsável pela quebra da lactose presente no leite e seus derivados. Heyman (2006) em parceria com o *Committee on Nutrition* declaram que esses sintomas associados ao consumo de leite contendo β -caseína A1, frequentemente são confundidos com aqueles da intolerância à lactose. Entretanto, intolerâncias alimentares e alergias são condições distintas. A intolerância à lactose é um problema comum em grande parte da população mundial e ocorre devido à deficiência da enzima lactase, responsável por digerir a lactose presente no leite e seus derivados.

Por outro lado, a Alergia à Proteína do Leite de Vaca (APLV) é desencadeada por uma resposta imunológica, na qual anticorpos são ativados para combater os antígenos presentes no leite, resultando no surgimento de sinais e sintomas após a ingestão desses alimentos. Estudos destacam que os principais sintomas dessa hipersensibilidade gastrointestinal incluem náuseas, dor abdominal, diarreia e manifestações cutâneas, além de impactos negativos no ganho de peso e na nutrição. Apesar das semelhanças nos sintomas entre a APLV e a intolerância à lactose, a

presença de vômito e reações cutâneas são características exclusivas da alergia alimentar (CUNHA *et al.*, 2015).

He *et al.* (2017) *apud* FERREIRA; PICHARA; VALENTE (2024) avaliaram os impactos gastrointestinais do consumo de leite convencional (A1) em comparação ao leite contendo exclusivamente β -caseína A2, em um grupo de 600 indivíduos que se identificavam como intolerantes à lactose; este estudo indicou que os principais sintomas relatados foram dor abdominal, flatulência, distensão abdominal e alteração na frequência e consistência das fezes; e os resultados mostraram que os participantes que consumiram leite A2 apresentaram sintomas menos intensos em relação àqueles que ingeriram leite A1.

Outro estudo também comparou o consumo de leite contendo β -caseína A1 e A2, constatando que a ingestão dessas variantes combinadas intensificou os sintomas gastrointestinais e elevou os marcadores inflamatórios intestinais; além disso, observou-se que, após a substituição do leite com β -caseína A1 e A2 pelo leite contendo apenas a β -caseína A2, 36,4% dos participantes apresentaram melhora na inflamação do intestino delgado, enquanto 22,7% relataram redução da inflamação no estômago (JIANQIN *et al.*, 2016).

Ho *et al.* (2014) *apud* Barbosa *et al.* (2019), investigaram a relação entre a consistência das fezes e os efeitos gastrointestinais do consumo de leite A1 e A2 em adultos que se identificavam como alérgicos ao leite A1; os achados indicaram uma correlação significativa entre a ingestão da variante A1 e o agravamento dos sintomas intestinais, sugerindo um possível aumento da resposta inflamatória.

No entanto, Jianqin *et al.* (2016) ressaltam a necessidade de mais pesquisas detalhadas para obter estimativas mais precisas sobre os impactos do consumo de leite A1 e A2 na função gastrointestinal; e como se trata de uma área em constante estudo, há uma oportunidade significativa para investigações adicionais sobre os efeitos do leite A2 no organismo e sua relação com a intolerância à lactose e a alergia às proteínas do leite.

6.4 Atributos físico-químicos e tecnológicos do leite A2

A análise das propriedades e das características tecnológicas das distintas variantes de β -caseína é fundamental para direcionar pesquisas mais aprofundadas e otimizar a produção de derivados lácteos com maior precisão. Observa-se que os estudos comparativos entre as propriedades tecnológicas do leite A1 e A2 apresentam

algumas divergências, possivelmente influenciadas por diversos fatores. Entre eles, destaca-se o polimorfismo genético das proteínas do leite, aspecto nem sempre considerado por todos os pesquisadores. Além disso, a presença de diferentes combinações genéticas, e não apenas de alelos individuais, pode impactar diretamente esses parâmetros (NGUYEN et al., 2015).

6.5 Regulamentação e normativas sobre o leite A2

A Resolução-RE Nº 4.769, de 22 de dezembro de 2021, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), proibiu a divulgação de alegações não aprovadas relacionadas ao "Leite produzido a partir de vacas com genótipo A2A2". Essa medida foi adotada após a identificação de propagandas irregulares na internet que sugeriam, incorretamente, que esse tipo de leite seria adequado para indivíduos com alergia à proteína do leite de vaca (APLV). A ANVISA esclarece que a alegação de propriedade funcional aprovada para esse alimento é: "O leite produzido a partir de vacas com genótipo A2A2 não promove a formação de BCM-7 (betacasomorfina-7), que pode causar desconforto digestivo", não estando relacionada a alergias alimentares ou outras condições de saúde (BRASIL, 2021)

Anteriormente, em 20 de outubro de 2021, a ANVISA havia publicado a Resolução nº 3.980, que autoriza a inclusão da frase "Leite produzido a partir de vacas com genótipo A2A2" nos rótulos das embalagens de leite A2. Além disso, foi aprovada a alegação de funcionalidade: "O leite A2 não promove a formação de BCM-7 (betacasomorfina-7), que pode causar desconforto digestivo". Portanto, enquanto a Resolução nº 3.980 autoriza a inclusão da referida frase nos rótulos, a Resolução-RE Nº 4.769 proíbe a divulgação de alegações não aprovadas pela ANVISA, especialmente aquelas que possam induzir o consumidor a acreditar que o leite A2 é adequado para pessoas com alergia à proteína do leite de vaca (ABRALEITE, 2021).

Esse suporte e incentivo da produção e rotulagem, impulsionou ainda mais a produção do leite A2 no país, facilitando ainda mais a compreensão do consumidor (PEREIRA, 2022). E para assegurar que o leite ou qualquer produto derivado de laticínios contenha exclusivamente caseínas A2 em sua formulação – e ainda garantindo o bem-estar animal – foi introduzida a certificação "VACAS A2A2" (Figura 6).

Figura 6. Certificação A2A2 em vacas leiteiras e condições de bem-estar animal



Fonte: IDEAGRI RUMINA (2020).

A certificação A2A2 atesta que fazendas e empresas certificadas seguem os padrões necessários para a produção e comercialização de leite e derivados provenientes exclusivamente de vacas com o genótipo A2A2. A partir de 2019, os produtos lácteos A2 começaram a ser comercializados no Brasil, com a marca “Letti A²” sendo a primeira a obter o selo de certificação para leite A2. Esse selo garante a rastreabilidade, pureza e procedência do leite, agregando confiabilidade ao produto (CNA, 2023).

A adesão ao programa de certificação é voluntária e representa uma decisão estratégica para fazendas e laticínios que buscam diferenciar seus produtos no mercado. Além de assegurar a autenticidade do leite A2, a certificação contribui para a valorização dos produtos e para a captação de novos consumidores (CNA, 2023).

Atualmente, o movimento “#BEBAMAISLEITE” não possui regulamentação oficial na legislação brasileira. No entanto, a certificação foi desenvolvida por meio de uma parceria entre o projeto independente “Beba Mais Leite”, que promove o consumo de produtos lácteos, e a Genesis Group, uma empresa especializada em certificação agroalimentar. Essa iniciativa tem base em estudos conduzidos por instituições acadêmicas e organizações de pesquisa (CNA, 2023).

6.6 Processamento e beneficiamento do leite A2

Produtores de laticínios em diversos países têm sido incentivados a direcionar seus esforços para a produção de leite A2 e seus derivados, atendendo ao aumento da demanda dos consumidores por esse tipo de produto (BODNÁR *et al.*, 2018; BENTIVOGLIO *et al.*, 2020; MILAN *et al.*, 2020). Além de atender a um nicho de

mercado específico, a produção de leite A2 se destaca como uma estratégia para agregar valor à atividade leiteira, tornando-se uma alternativa viável para aumentar a rentabilidade em comparação ao leite convencional. (Figura 7).

No Brasil, pesquisas recentes têm demonstrado uma predominância do alelo A2 da β -caseína em diferentes raças bovinas, indicando avanços no conhecimento sobre a frequência desses alelos e destacando a importância de estudos contínuos para compreender a distribuição genotípica em diversas regiões e rebanhos (RODRIGUES *et al.*, 2023).

Figura 7. Novilha utilizando identificador (cor branca) do genótipo A2A2 na orelha esquerda



Fonte: PACCHIAROTTI; MENDES; FERREIRA (2020).

Embora o processamento do leite A1 e A2 seja similar, é fundamental controlar certos aspectos para garantir um produto certificado e de alta qualidade. A identificação e seleção de animais com genótipo A2A2 são etapas cruciais nesse processo. A eficiência dessas fases é essencial para atender às demandas dos mercados nacional e internacional, especialmente considerando o desafio de realizar essas etapas de forma econômica e rápida. Recentemente, testes rápidos têm sido

desenvolvidos para identificar animais com alelos A2A2 diretamente nas fazendas. (MILKPOINT, 2023).

A empresa Scienco Biotech® introduziu no Brasil um teste rápido que requer apenas uma gota de leite no dispositivo, fornecendo resultados em aproximadamente 20 minutos. Se duas linhas aparecem no cassete, isso indica que o animal produz leite A2 (SCIENCO BIOTECH, 2023). Essa inovação elimina a necessidade de coleta de sangue ou folículos pilosos, permitindo que os produtores analisem grandes rebanhos de maneira mais rápida e precisa.

Para garantir a pureza do leite A2, é necessário um cuidado meticuloso durante todo o processo de produção. O processamento deve ser realizado separadamente para evitar a contaminação com o leite A1. A segregação deve começar na ordenha, mantendo o leite A2 e A1 em tanques distintos. Além disso, o transporte deve ser conduzido de forma independente para cada tipo de leite até a indústria, onde o beneficiamento deve ser executado com extremo cuidado para evitar qualquer mistura ou contaminação entre as proteínas A2 e A1 (MILKPOINT, 2023).

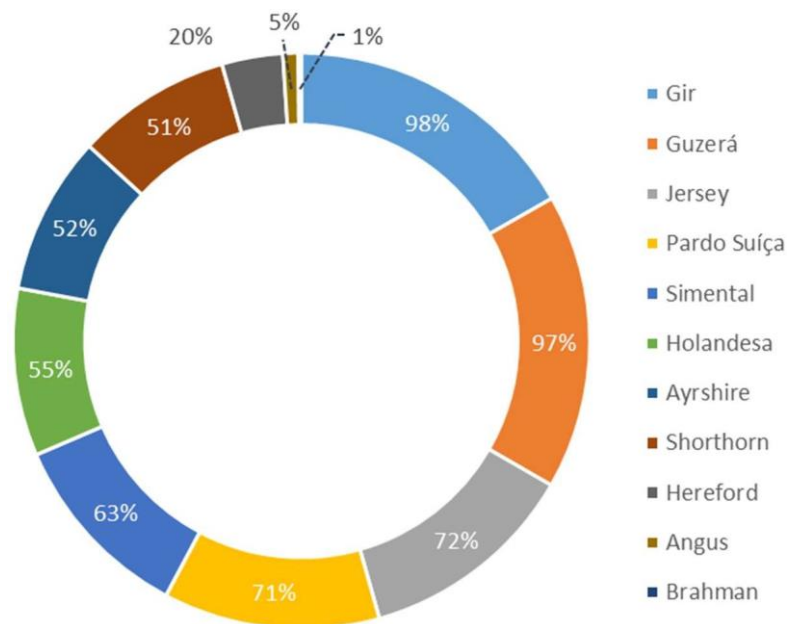
Atualmente, sabe-se que a mutação genética responsável pela produção de β -caseína A1 foi identificada apenas em rebanhos bovinos, enquanto o leite de cabra, ovelha e búfala é considerado naturalmente como A2 (BARBOSA *et al.*, 2019).

6.7 Principais raças bovinas brasileiras produtoras de leite A2

A produção do leite A2 acontece por seleção genética e, para isto acontecer, a fazenda necessita realizar o mapeamento genético das vacas para identificar se são aptas a produzir este tipo de leite. Essas vacas devem ser separadas e inseminadas artificialmente com sêmen de bovinos também de genótipo A2A2 (BARBOSA, 2019 *apud* PACCHIAROTTI, MENDES; FERREIRA, 2020).

No Brasil, algumas raças bovinas – conhecidas por produzir leite A2 – têm ganhado destaque não apenas pela qualidade do leite, mas também pela adaptabilidade ao clima brasileiro e pela eficiência na produção (Figura 8).

Figura 8. Análise das diferenças entre as diversas linhagens de gado com base na porcentagem de frequência do alelo A2



Fonte: Barbosa *et al.* (2019) *apud* PACCHIAROTTI; MENDES; FERREIRA (2020).

Conforme ilustrado na Figura 7, vacas de raças zebuínas apresentaram uma maior frequência do alelo A2, enquanto fêmeas pertencentes às raças taurinas exibiram menores frequências alélicas (PACCHIAROTTI; MENDES; FERREIRA, 2020).

Estudos demonstram que a raça Guernsey, apesar de ainda ser pouco difundida no Brasil, tem como característica marcante a produção exclusiva de leite A2 em todos os seus exemplares. Outra raça de destaque nesse segmento é o Guzerá Leiteiro, incluindo seus cruzamentos. Para aumentar a produtividade desse tipo de leite, criadores têm apostado em avanços genéticos e técnicas aprimoradas de manejo, uma vez que a demanda por leite A2 vem crescendo devido ao seu menor potencial alergênico. O gado Sindi, originário da região de Sinde, no Paquistão, também se diferencia na produção de leite A2. Essa raça tem ganhado cada vez mais reconhecimento por gerar leite composto unicamente por proteínas de β -caseína A2, fator que reduz a incidência de reações adversas em consumidores sensíveis. (PEREIRA, 2022).

O interesse pelo leite A2 tem se expandido, pois muitos consumidores o associam a benefícios para a saúde, principalmente no alívio de desconfortos gastrointestinais provocados pelo consumo de leite contendo β -caseína A1. Nesse

contexto, a produção de leite A2 surge como uma alternativa estratégica para pecuaristas que desejam diversificar seus produtos e atender a um público que busca opções mais saudáveis (FERREIRA; MOURA, 2024).

6.8 Vacas A2: constituintes do leite e do colostro *versus* sistemas de criação

6.8.1 Gordura

É um dos componentes mais importantes do leite (L) e colostro (C), fornecendo energia essencial, ácidos graxos fundamentais ao metabolismo e influenciando diretamente a qualidade nutricional do produto. Os teores e o perfil de ácidos graxos podem variar consideravelmente entre sistemas de manejo (ou criação animal) – convencional (CON) e/ou orgânico (ORG) – devido às diferenças na dieta, no estresse metabólico das vacas e nas condições gerais de criação (BRITO, 2021; MARQUES, 2024).

No sistema de manejo CON, as vacas são frequentemente alimentadas com uma dieta à base de concentrados e silagens, visando maximizar a produção de leite. Este sistema favorece a alta produtividade, mas estudos recentes demonstram que ele tende a reduzir o teor de ácidos graxos insaturados, como o ácido linoleico conjugado (CLA) e os ômega-3, reconhecidos pelos seus benefícios à saúde humana. Em contrapartida, o sistema de criação ORG, que prioriza pastagens frescas e manejo mais natural, promove um impacto positivo na composição da gordura do leite (GOR-L) e da gordura do colostro (GOR-C) (BENBROOK *et al.*, 2013).

Raçu *et al.* (2023) destacaram que vacas criadas sob manejo ORG produzem leite e colostro com teores superiores de ácidos graxos poli-insaturados, incluindo maiores concentrações de CLA e ômega-3.

Ellis *et al.* (2006); Stanton *et al.* (2021) relataram que o sistema ORG aumenta significativamente a GOR-C, com destaque para os ácidos graxos essenciais. Esses compostos fornecem energia ao bezerro e desempenham um papel vital na imunidade e no desenvolvimento inicial. Adicionalmente, vacas mantidas em manejo ORG podem produzir até 50% mais ácidos graxos insaturados no leite em comparação ao sistema CON, reforçando a superioridade nutricional do manejo ORG. O leite A2 oriundo desse sistema também apresenta um perfil lipídico mais saudável, o que representa um diferencial em mercados que buscam alimentos mais naturais e funcionais.

Davis (2020) reportou que o impacto positivo do manejo ORG na GOR-L e na GOR-C em vacas A2 está diretamente relacionado à alimentação baseada em pastagens frescas, que fornecem ácido α -linolênico, precursor de ácidos graxos poli-insaturados como o ômega-3; além disso, vacas em manejo ORG, devido à menor demanda metabólica associada a uma produção menos intensiva, conseguem redirecionar mais energia para a síntese de compostos lipídicos benéficos. Estudos também indicam que o colostro produzido por vacas A2, em sistemas ORG contém maiores concentrações de ácidos graxos bioativos, fundamentais para a imunidade dos bezerros e para potenciais benefícios à saúde humana (McGRATH, 2016).

Enquanto o manejo ORG promove um perfil de GOR enriquecido com ácidos graxos poli-insaturados, CLA e ômega-3, o manejo CON resulta em um leite com qualidade lipídica inferior, ainda que seja mais eficiente em termos de produtividade (STANTON *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2024). Isso reforça a importância de práticas sustentáveis na produção leiteira, especialmente no caso de vacas mestiças A2, cujos produtos apresentam um apelo nutricional e funcional acentuado.

A adoção de práticas sustentáveis no manejo ORG não apenas melhora a qualidade nutricional do leite e do colostro de vacas A2, mas também contribui para um sistema produtivo mais alinhado às demandas de mercado; e ainda a valorização de ácidos graxos benéficos e do apelo funcional do leite A2 reflete na importância crescente da sustentabilidade na produção animal, reforçando a relevância de estudos adicionais que explorem ainda mais os benefícios dos sistemas de criação animal e sua interação genotípica de alelos A2A2.

6.8.2 Lactose

É a principal fonte de energia para os neonatos e desempenha papel fundamental na osmolaridade do leite, regulando sua produção e secreção. A composição de lactose (LAC) é diretamente influenciada pelo sistema de manejo adotado, uma vez que fatores como dieta, metabolismo energético e bem-estar animal impactam o desempenho produtivo das vacas A2 e a qualidade dos produtos lácteos (CHILLIARD *et al.*, 2018).

No sistema de manejo CON, predominam dietas à base de concentrados e silagens, formuladas com o objetivo de maximizar a produção leiteira. No entanto, a alta ingestão de carboidratos não fibrosos pode predispor as vacas a distúrbios metabólicos, como a acidose ruminal subaguda, comprometendo o metabolismo da

glicose — principal precursor da LAC — e, conseqüentemente, afetando a síntese e concentração de lactose no leite (LAC-L), e da lactose no colostro (LAC-C). Além disso, o estresse metabólico associado ao manejo intensivo demanda maior mobilização de energia, o que pode resultar em reduções nos teores de LAC, especialmente em vacas de alta produção (BENBROOK *et al.*, 2013; BRODZIAK *et al.*, 2021).

Por outro lado, no sistema de criação ORG, onde a alimentação é baseada em pastagens frescas e forragens de alta qualidade, a maior oferta de carboidratos estruturais e fibras promove uma fermentação ruminal mais equilibrada. Essa condição favorece o metabolismo eficiente da glicose e aumenta a estabilidade na síntese de LAC. O manejo menos intensivo também proporciona menor estresse metabólico e maior equilíbrio energético, resultando em melhores teores de LAC-L e de LAC-C. Estudos apontam que vacas criadas em sistemas orgânicos tendem a apresentar colostro com concentrações ligeiramente superiores de lactose, refletindo a melhor adaptação desses animais ao ambiente de criação sustentável (SCHWENDEL *et al.*, 2015; WESTHOFF; BORCHARDT; MANN, 2024).

Outro aspecto relevante é o manejo do colostro. No sistema de criação CON, práticas como ordenhas precoces ou manejo inadequado podem comprometer sua qualidade, incluindo o teor de LAC-C. Em contraste, no manejo ORG, maior atenção aos ciclos naturais da lactação e respeito ao bem-estar animal contribuem para um colostro de alta qualidade, com teores mais estáveis de LAC (FAO, 2022).

O sistema de manejo exerce impacto direto na composição de LAC-L e LAC-C em vacas A2, onde o manejo ORG, ao priorizar dietas equilibradas e um ambiente menos estressante, favorece a síntese e estabilidade dos teores de LAC. Por outro lado, o sistema de criação CON, apesar de maximizar a produção, pode comprometer a eficiência metabólica das vacas A2 e reduzir os teores de LAC devido a distúrbios energéticos (BRODZIAK *et al.*, 2021; GRODKOWSKA *et al.*, 2023). Essas diferenças reforçam a importância da sustentabilidade do sistema de criação empregada, especialmente para vacas mestiças A2, cujo leite e colostro apresentam vantagens nutricionais e funcionais superiores.

6.8.3 Densidade

É uma característica importante do leite e do colostro, refletindo sua concentração de sólidos, como gordura (GOR), proteínas (PROT), lactose (LAC) e

minerais (MIN). Além disso, é frequentemente utilizada como indicador de qualidade, sendo influenciada por fatores como dieta, manejo e saúde do animal. Estudos recentes indicam que a densidade (DEN) pode variar significativamente de acordo com o sistema de criação de vaca A2, devido às diferenças na alimentação e no estresse metabólico destes indivíduos (MANUELIAN *et al.*, 2022).

No manejo convencional, o uso intensivo de dietas ricas em grãos e silagens tende a aumentar a produção de leite, mas pode diluir a concentração de sólidos, resultando em uma densidade ligeiramente menor. Este foco em maximizar a produtividade pode levar a variações nos componentes nutricionais do leite, como os sólidos totais, influenciando negativamente a densidade (STANTON; BERESFORD; HOGAN, 2024). Em contraste, o sistema orgânico, que prioriza pastagens frescas e alimentação mais natural, favorece uma composição mais equilibrada e consistente de sólidos, contribuindo para uma densidade ligeiramente maior em média (MANUELIAN *et al.*, 2022; GRODKOWSKA *et al.*, 2023).

Além disso, o manejo orgânico promove menor estresse metabólico devido à produção menos intensiva e ao uso reduzido de suplementos artificiais. Isso impacta positivamente a qualidade do colostro, que apresenta maior densidade devido à concentração superior de proteínas e outros sólidos essenciais para a saúde dos bezerros. Em comparação, no manejo convencional, a densidade do colostro pode ser mais variável devido à menor atenção aos ciclos naturais de lactação e ao uso intensivo de práticas que afetam os teores de sólidos (STANTON; BERESFORD; HOGAN, 2024; WESTHOFF; BORCHARDT; MANN, 2024).

Grodowska *et al.* (2023) investigando a qualidade do colostro em vacas leiteiras criadas em sistemas de produção orgânica, indicaram que a DEN-C variou de 1,06 g.cm³ na primeira coleta para 1,03 g.cm³ nas coletas subsequentes, sugerindo que a DEN pode ser influenciada pelo número de lactações e pelo manejo ORG. A maior densidade no colostro produzido sob manejo ORG indica uma melhor transferência de nutrientes e imunoglobulinas aos bezerros, essenciais para sua imunidade inicial e desenvolvimento saudável. Essas evidências reforçam a relevância de práticas sustentáveis na produção leiteira.

6.8.4 Proteínas

São um dos componentes mais relevantes do leite e colostro, principalmente em termos de nutrição e funcionalidade. No colostro, a concentração de proteínas

(PROT) é significativamente mais alta que no leite “maduro” (ou leite de lactação estabelecida) devido à presença de imunoglobulinas, lactoferrina e outras PROT bioativas essenciais para a imunidade dos bezerros. A composição proteica no leite (PROT-L) e no colostro (PROT-C) varia consideravelmente entre os sistemas de manejo, sendo influenciada pela dieta e o bem-estar dos animais (GCC, 2020).

Em sistemas CON, onde a alimentação é predominantemente baseada em concentrados e silagens, o foco está na maximização da produção leiteira A2. No entanto, estudos indicam que a alta produtividade pode levar a uma leve diluição do teor de PROT-L, especialmente em raças de alta produção, como a Holandesa. Além disso, os níveis de PROT-C podem ser menores devido ao maior estresse metabólico dos animais, que impacta negativamente a síntese de componentes imunológicos, como as imunoglobulinas (KOCHAR, 2020).

Por outro lado, o manejo ORG, que utiliza uma alimentação baseada em forragens frescas e pastagens, promove um ambiente mais equilibrado para a produção de leite A2. Esse sistema favorece teores mais elevados de PROT-C, especialmente as imunoglobulinas, que são cruciais para o desenvolvimento inicial dos bezerros. Estudos mostram que o colostro produzido por vacas A2 em criação ORG apresenta até 20% mais PROT, em comparação ao manejo CON (GCC, 2020).

No que diz respeito ao leite A2, as PROT presentes são especialmente benéficas devido à ausência de β -caseína A1, que é associada a desconfortos trato digestivos em humanos. A produção de leite A2 em sistemas ORG também reflete um perfil PROT mais favorável, com maior concentração de caseínas que contribuem para a qualidade nutricional e funcional do leite (KOCHAR, 2020).

O sistema de manejo tem um papel significativo na composição proteica do leite A2 e do colostro A2. O manejo orgânico demonstra vantagens claras em termos de maior concentração de proteínas imunológicas no colostro e maior estabilidade na qualidade proteica do leite, o que beneficia tanto a saúde dos bezerros quanto a dos consumidores humanos (GRODKOWSKA *et al.*, 2023; WESTHOFF; BORCHARDT; MANN, 2024).

6.8.5 Potencial hidrogeniônico

O pH é uma propriedade essencial que influencia a estabilidade dos componentes nutricionais, bem como a qualidade geral do leite e do colostro. Em sistemas de manejo CON, o pH no leite (pH-L) tende a ser ligeiramente mais ácido

devido à maior ingestão de alimentos concentrados e ao estresse metabólico, que podem alterar a homeostase ruminal e os processos metabólicos das vacas A2 (ORMSTON *et al.*, 2023). Por outro lado, no sistema de criação ORG, a alimentação baseada em pastagens e forragens frescas, aliada à menor intensidade do sistema de produção, promove um pH mais estável, refletindo um melhor equilíbrio metabólico (GAMROTH *et al.*, 2014; WESTHOFF; BORCHARDT; MANN, 2024).

O colostro, por sua composição naturalmente mais rica em proteínas e imunoglobulinas, apresenta pH mais ácido que o leite maduro, sendo sua estabilidade crucial para a eficácia na transferência de imunidade aos bezerros. Em sistemas orgânicos, o colostro frequentemente apresenta pH mais equilibrado, o que pode estar relacionado ao menor nível de estresse metabólico e ao respeito pelos ciclos naturais de lactação (WESTHOFF; BORCHARDT; MANN, 2024).

O colostro, por sua composição naturalmente rica em proteínas e imunoglobulinas, apresenta pH mais ácido que o leite maduro, onde essa acidez é crucial para garantir a eficácia na transferência de imunidade aos bezerros. Em sistemas ORG, o colostro frequentemente apresenta pH mais equilibrado, o que pode estar relacionado ao menor nível de estresse metabólico e às práticas que respeitam os ciclos naturais de lactação (WESTHOFF; BORCHARDT; MANN, 2024). Em contrapartida, sistemas CONV, devido à alta inclusão de alimentos concentrados, podem levar a condições como acidose subclínica, que impactam negativamente o pH-L e o pH-C em alguns casos (ORMSTON *et al.*, 2023).

No sistema de manejo orgânico, dietas ricas em forragens e com reduzido teor de concentrados favorecem uma fermentação ruminal mais eficiente, o que contribui para a estabilidade do leite A2, tanto do pH-L quanto do pH-C. Isso é especialmente relevante no contexto do leite A2, conhecido por seus diferenciais nutricionais e melhor digestibilidade para humanos. A estabilidade do pH está diretamente ligada ao manejo alimentar e às condições gerais do sistema de produção, reforçando que o manejo ORG promove não apenas equilíbrio metabólico, mas também maior qualidade no produto final (ORMSTON *et al.*, 2023; WESTHOFF; BORCHARDT; MANN, 2024).

6.8.6 Extrato seco desengordurado

É composto por proteínas (PROT), lactose (LAC) e minerais (MIN) e outros sólidos que permanecem após a remoção da GOR, é uma medida essencial da

qualidade do leite e do colostro. Ele reflete diretamente a concentração de nutrientes sólidos no produto e pode variar significativamente entre os sistemas de manejo CON e ORG devido às diferenças na dieta e no bem-estar animal (WESTHOFF; BORCHARDT; MANN, 2024).

No manejo CON, as vacas são alimentadas com dietas concentradas e silagens que priorizam o aumento da produtividade. Embora isso maximize o volume de leite, pode ocorrer uma leve diluição dos sólidos não gordurosos, resultando em menores valores de extrato seco desengordurado (ESD) em alguns casos. Além disso, as práticas intensivas podem causar estresse metabólico, afetando a síntese de PROT e MIN, componentes importantes do ESD (STANTON; BERESFORD; HOGAN, 2024).

Em contraste, no sistema de criação ORG, a alimentação baseada em pastagens frescas favorece uma composição mais rica e equilibrada dos sólidos não gordurosos. Pesquisas indicam que o leite produzido em manejo ORG tende a apresentar níveis ligeiramente mais altos de PROT e MIN devido à qualidade superior da dieta e ao menor estresse metabólico dos animais. Ademais, o colostro produzido em sistemas ORG exibe maiores concentrações de sólidos, essenciais para o desenvolvimento inicial dos bezerros (DN, 2018; GRODKOWSKA *et al.*, 2023).

As diferenças no ESD entre as duas formas de manejo são particularmente influenciadas pelo equilíbrio nutricional das dietas e pela saúde geral das vacas A2. Por exemplo, uma maior ingestão de forragem fresca em sistemas ORG está associada a um aumento na biodisponibilidade de MIN, como cálcio (Ca) e fósforo (P), que contribuem diretamente para os valores de ESD (DN, 2018; MANUELIAN *et al.*, 2022).

O sistema de manejo de vacas A2 exerce um impacto direto no extrato seco desengordurado do leite (ESD-L) e do colostro (ESD-C). O manejo ORG, ao oferecer uma dieta mais balanceada e um ambiente menos estressante, promove níveis superiores de ESD, resultando em produtos com maior valor nutricional (DN, 2018). Esses resultados reforçam a importância de práticas sustentáveis na produção leiteira e destacam os benefícios nutricionais associados ao manejo ORG.

7. Conclusão

Esse estudo permitiu uma compreensão ampla e detalhada sobre o desenvolvimento da indústria láctea no Brasil, os padrões de produção e consumo de leite, sua composição e os aspectos específicos relacionados ao leite A2. O setor

lácteo brasileiro passou por transformações significativas, impulsionadas por inovações tecnológicas e regulamentações que buscaram aprimorar a qualidade e a segurança dos produtos. A crescente demanda por produtos diferenciados, como o leite A2, reflete mudanças nas preferências dos consumidores, que buscam alimentos mais saudáveis e funcionais.

O leite A2 tem se destacado por sua composição específica de caseínas, ausente da variante A1 da β -caseína, e tem sido associado a potenciais benefícios à saúde, como melhor digestibilidade e menor risco de desconfortos gastrointestinais. A revisão destacou a influência de fatores como a genética dos rebanhos, a alimentação e os sistemas de manejo na qualidade e composição do leite A2, evidenciando que vacas criadas sob sistemas de manejo orgânico tendem a produzir leite com perfis lipídicos e proteicos mais equilibrados.

O impacto dos sistemas de manejo convencional e orgânico sobre a composição do leite e do colostro também foi analisado, com ênfase nos constituintes principais, como gordura, proteínas, lactose, densidade, pH e extrato seco desengordurado. Os estudos revisados sugerem que o manejo orgânico, devido à alimentação baseada em pastagens e à redução do estresse metabólico, favorece a qualidade nutricional e funcional do leite e colostro, proporcionando melhores condições para o desenvolvimento dos bezerros e aumentando o valor agregado dos produtos lácteos.

Entretanto, apesar das evidências que apontam vantagens do sistema orgânico sobre o convencional, observa-se que a produção de leite A2 ainda enfrenta desafios relacionados à regulamentação, padronização de processos produtivos e viabilidade econômica para os produtores. A falta de legislação específica e a necessidade de mais estudos sobre os efeitos do leite A2 na saúde humana demonstram a importância de pesquisas futuras.

Dessa forma, reforça-se a relevância de aprofundar o estudo sobre a influência dos sistemas de manejo na composição do leite e colostro de vacas mestiças A2. O conhecimento gerado pode contribuir para otimizar práticas produtivas, melhorar a qualidade do leite ofertado ao mercado e oferecer bases científicas para futuras regulamentações e incentivos à produção de leite A2 no Brasil.

8. Referências Bibliográficas

ABRALEITE - Associação Brasileira dos Produtores de Leite. Anvisa publica resolução sobre benefícios digestivos do leite A2. **Canal do Leite / Publicações**. 2021. Disponível em: <<https://www.abraleite.org.br/2021/10/25/acao-da-abraleite-leva-anvisa-a-publicar-resolucao-sobre-beneficios-digestivos-do-leite-a2/>>. Acesso em: 9/out./2024.

ALVES, E. *et al.* A evolução do leite no Brasil em cinco décadas. **Revista de Política Agrícola**, v.26, n.1, p.5-24, 2017.

AUGUSTINHO, E.A.S. A importância do leite. Relatório apresentado para Programa de Aprendizagem de Estágio Supervisionado em Indústria, na Pontifícia Universidade Católica do Paraná. 2015. Disponível em: <https://girleiteiro.org.br/?noticias_det/1441>. Acesso em: 24 out. 2024.

BARBOSA, M.G. *et al.* Leites A1 e A2: revisão sobre seus potenciais efeitos no trato digestório. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v.26, p.1-11, 2019.

BARNETT, M.P. *et al.* Dietary A1 β -casein affects gastrointestinal transit time, dipeptidyl peptidase-4 activity, and inflammatory status relative to A2 β -casein in wistar rats. **Int. Journal of Dairy Science: Nutrients**, v.65, p.720-727, 2014.

BENBROOK, C.M. *et al.* Organic production enhances milk nutritional quality by shifting fatty acid composition. **PLOS ONE**, v.8, n.12, e82429, 2013.

BHAT, R. *et al.* Global Dairy Sector: Trends, Prospects, and Challenges. **Sustainability**, v.14, n.4193, p.1-7, 2022.

BENTIVOGLIO, D. *et al.* Is There a Promising market for the A2 milk? Analysis of italian consumer preferences. **Sustainability**, v.12, n.17, e6763, 2020.

BODNÁR, Á. *et al.* A2 milk and its importance in dairy production and global market. **Animal Welfare, Etológia és Tartástechnológia**, v.14, n.1, p.1-7, 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária/4ª Diretoria/Gerência-Geral de Inspeção e Fiscalização Sanitária. Manual de métodos oficiais para análise de alimentos de origem animal. Resolução-RE nº 4.769, de 22 de Dezembro de 2021. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2021.

BRASIL. Instrução Normativa Nº 55, de 30 de Setembro de 2020. Altera a Instrução Normativa nº 76, de 26 de Novembro de 2018. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2020.

BRASIL. Instrução Normativa Nº 76, de 26 de Novembro de 2018. Aprova os Regulamentos técnicos que fixam a identidade e as características de qualidade que devem apresentar o leite cru refrigerado, o leite pasteurizado e o leite pasteurizado tipo A. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Manual de métodos oficiais para análise de alimentos de origem animal**. Brasília: MAPA, 2017. 140p.

BRASIL. Instrução Normativa Nº 62, de 30 de Dezembro de 2011. Aprovar o Regulamento técnico de produção, identidade e qualidade do leite tipo A; o Regulamento técnico de identidade e qualidade de leite cru refrigerado, o Regulamento técnico de identidade e qualidade de leite pasteurizado e o Regulamento técnico da coleta de leite cru refrigerado e seu transporte a granel. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2011.

BRASIL. Instrução Normativa Nº 51, de 18 de Setembro de 2002. Aprova os Regulamentos Técnicos de Produção, Identidade e Qualidade do Leite tipo A, do Leite tipo B, do Leite tipo C, do Leite Pasteurizado e do Leite Cru Refrigerado e o Regulamento Técnico da Coleta de Leite Cru Refrigerado e seu Transporte a Granel. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2002.

BRASIL Ministério da Agricultura e do Abastecimento, Secretaria de Defesa Agropecuária. Portaria Nº 56, de 07 de Dezembro de 1999. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1999.

BRASIL. Decreto Nº 30.691, de 29 de Março de 1952. Aprova o novo Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1952.

BRITO, M.A. *et al.* **Identificação animal e rastreamento da produção de bovinos de leite: Composição.** Portal EMBRAPA, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/criacoes/gado_de_leite/pre-producao/qualidade-e-seguranca/qualidade/composicao>. Acesso em: 9/out./2024.

BRODZIAK, A. *et al.* Organic versus Conventional raw cow milk as material for processing. **Animals**, v.11, e.2760, 2021.

BROOKE-TAYLOR, S. *et al.* Systematic review of the gastrointestinal effects of A1 compared with A2 β -casein. **Advances in Nutrition**, v.8, p.48-739, 2017.

CASS, H. *et al.* Absence of urinary opioid peptides in children with autism. **Archives of Disease in Childhood**, v.93, n.9, p.745-750, 2008.

CHEQUER, T.N. **Quantificação da betacasomorfina-7 após processamento tecnológico de leite oriundo de vacas com alelos contrastantes para β ²-caseína.** 2022. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2022.

CHIN-DUSTING, J. *et al.* Effect of dietary supplementation with β casein A1 or A2 on markers of disease development in individuals at high risk of cardiovascular disease. **British Journal of Nutrition**, v.95, n.1, p.136-144, 2006.

CNA - Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. **Protocolo Vacas A2A2.** 2023. Disponível em: <<https://cnabrasil.org.br/protocolo-vacas-a2a2-2>>. Acesso em: 24 out. 2023.

CORBUCCI, F.S. **Beta-caseína A2 como um diferencial na qualidade do leite.** 2017. 23 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Medicina Veterinária) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araçatuba, 2017.

COSTA JÚNIOR, G.C.L. **Química e tecnologia do leite e derivados**. 1ª ed. Juiz de Fora: Ed. do Autor, 2023.

CUNHA, M.E.T. *et al.* Intolerância à lactose e alternativas tecnológicas. **Journal of Health Sciences**, v.10, n.2, 2015.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K.L. **Química de alimentos de fennema**. Porto Alegre: ARTMED, 2019.

DN - Dairy Nutrition. Differences in the nutritional composition of organic versus conventional milk. **DairyNutrition**, 2018. Disponível em: <https://www.dairynutrition.ca>. Acesso em: 9/out./2024.

DANIEL, H. *et al.* Effect of casein and b-casomorphins on gastrointestinal motility in rats. **Journal Nutrients**, v.120, p.252-257, 1990.

DAVIS, H. *et al.* Evidence that forage-fed cows can enhance milk quality. **Sustainability**, v.12, e.3688, 2020.

ELLIOTT, R.B. *et al.* Type I (insulindependent) diabetes mellitus and cow milk: casein variant consumption. **Magazine Diabetologia**, v.42, p.292-296, 1999.

ELLIS, K. *et al.* Comparing the fatty acid composition of organic and conventional milk. **Journal Dairy Science**. v.89, p.1938-1950, 2006.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Produção de leite no Brasil por estados e regiões**. Brasília: Anuário Leite, 2023.

ESCOBAR-CHARRY, M.A.; QUINTANILLA-CARVAJAL, M.X. An overview of bovine beta-casomorphin-7 (b-BCM7) and its potential impact on microbiota regulation and digestive health. **Journal of Functional Foods**, v.128, e106812, p.1-17, 2025.

FERREIRA, K.E.S.; MOURA, R.R. **Leite A2A2: uma análise abrangente sobre seu surgimento, propriedades, mercado e evolução científica através da análise**

bibliométrica. 2024. 72f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de São Carlos, Buri, 2024.

FERREIRA, V.N.P.; PICHARA, W.G.; VALENTE, G.L.C. Efeito hipoalergênico das proteínas do leite A2A2. **Research, Society and Development**, v.13, n.5, e2513545732, p.1-7, 2024.

FONTES, F. Tudo o que você precisa saber sobre leite A2. **Revista Leite Integral**, 2019. Disponível em: <<https://www.revistaleiteintegral.com.br/noticia/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-leite-a2>>. Acesso em: 03 nov. de 2024.

GAMROTH, M. *et al.* Organic and Conventional dairies show few differences in cow health and milk. **Journal of Dairy Science**, 2014.

GCC - Golden Calf Company. What's the composition? Milk And Colostrum and how to treat each. **Golden Calf Company**, 2020. Disponível em: goldencalfcompany.com. Acesso em: 9/out./2024.

GDP. **Impacto do desenvolvimento do sector leiteiro na redução da pobreza**. Chicago: FAO, 2018.

GONENNE J. *et al.* Effect of alvimopan and codeine on gastrointestinal transit: a randomized controlled study. **Clinical Gastroenterology and Hepatology**, v.3, p.91-784, 2005.

GRODKOWSKA, K. *et al.* The effect of parity on the quality of colostrum of Holstein dairy cows in the organic production system. **Animals**, v.13, n.3, e540, p.1-14, 2023.

HARTMANN, W. **Sólidos totais em amostras de leite de tanques**. 2002. 70f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

HAUTEFEUILLE, M. *et al.* In vitro effects b-casomorphins on ion transport in rabbit ileum. **American Journal Physiological Society**, v.250, p.92-97, 1986.

HE, M. *et al.* Effects of cow's milk beta-casein variants on symptoms of milk intolerance in chinese adults: A multicentre, randomised controlled study. **Nutrition Journal**, v.16, n.1, p.72, 2017.

HEYMAN, M.B. Committee on nutrition: lactose intolerance in infants, children, and adolescents. **Pediatrics**, v.118, n.3, p.1279-1286, 2006.

HUNTER, L.C. *et al.* Opioid peptides and dipeptidyl peptidase in autism. **Developmental Medicine and Child Neurology**, v.45, n.2, p.121-128, 2003.

IDEAGRI RUMINA - Letti a2 é a primeira marca brasileira certificada para produção de leite com vacas A2A2. **Integral Comunicação**, 2020. Disponível em: <<https://centralderecursos.ideagri.com.br/posts/letti-a2-e-a-primeira-marca-brasileira-certificada-para-producao-de-leite-com-vacas-a2a2>>. Acesso em: 16 jan. 2025.

JIANQIN, S. *et al.* Effects of milk containing only A2 beta casein versus milk containing both A1 and A2 beta casein proteins on gastrointestinal physiology, symptoms of discomfort, and cognitive behavior o people whith self-reproted intolerance to tradicional cows' milk. **Nutrition Journal**, v.15, n.35, p.1-16, 2016.

JINSMAA, Y.; YOSHIKAWA, M. Enzymatic release of neocasomorphin and β -casomorphin from bovine beta-casein. **Peptides**, v.20, n.8, p.957-962, 1999.

KAMIŃSKI, S.; CIEŚLIŃSKA, A.; KOSTYRA, E. Polymorphism of bovine beta-casein and its potential effect on human health. **Journal of Applied Genetics**, v48, p.189-198, 2007.

KOBLITZ, M.G.B. **Matérias-primas alimentícias: Composição e controle de qualidade**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

KRUIF, C.G. *et al.* Casein micelles and their internal structure. **Advances in Colloid and Interface Science**, 171-172, 36-52, 2012.

KUMAR, A. *et al.* Investigation of genetic polymorphism at β -casein A1/A2 loci and association with production on production & reproduction traits in Vrindavani crossbred cows. **Animal Biotechnology**. v.33, p1-9, 2021.

LAUGESEN, M.; ELLIOTT, R. Ischaemic heart disease, type 1 diabetes, and cow milk A1 beta-casein. **The New Zealand Medical Journal**, v.116, n.1168, 2003.

LIMA, P.L. *et al.* Evolução do marco legal do leite cru refrigerado no Brasil. **Revista Instituto Laticínios “Cândido Tostes”**, v.75, n.3, p.190-203, 2020.

LIMA, U.A. **Matérias-primas dos alimentos: Origem animal**. São Paulo: BLUCHER, 2010.

MANUELIAN, C.L. *et al.* Detailed comparison between organic and conventional milk from Holstein-Friesian dairy herds in Italy. **Journal of Dairy Science**, v.105, n.7, p.5561-5572, 2022.

MARQUES, C.G. **Tabela de composição nutricional dos leites**. Nutritotal, 2024. Disponível em: <https://nutritotal.com.br/pro/material/tabela-diferenca-entre-os-leites/?form=MG0AV3>. Acesso em: 9 out. 2024.

McGRATH, B.A. *et al.* Composition and properties of bovine colostrum: a review. **Dairy Science & Technology**, v.96, p.133-158, 2016.

McLACHLAN, C.N.S. β -casein A1, ischaemic heart disease mortality, and other illnesses. **Medical Hypotheses**, v.56, n.2, p. 262-272, 2001.

MELO, M.B. **Caracterização e purificação da lactoferrina de bubalina (*Bubalus bubalis*), associação com quantum dots e sua determinação utilizando sensor a base de Au/PAMAM**. 2022. 91f. Tese (Doutorado em Ciência de Materiais) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2022.

MILAN, A.M. *et al.* Comparison of the impact of bovine milk β -casein variants on digestive comfort in females self-reporting dairy intolerance: a randomized controlled trial. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v.111, n.1, p.149-160, 2020.

MILKPOINT. **Testes Rápidos ganham espaço e simplificam a seleção de Rebanhos A2A2 no País.** MilkPoint, 2023. Disponível em:<<https://www.milkpoint.com.br/empresas/novidades-parceiros/testes-rapidos-ganham-espaco-e-simplificam-a-selecao-de-rebanhos-a2a2-no-pais-234920/>>. Acesso em: 12 nov. 2024.

NGUYEN, D.D. *et al.* Identification and quantification of native beta-casomorphins in Australian milk by LC-MS/MS and LC-HRMS. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.44, p.102-110, 2015.

OLIVEIRA, A.J.; CARUSO, J.G.B. **Leite-obtenção e qualidade do produto fluído e derivados.** Piracicaba: FEALQ, 1996. 80p.

OLIVEIRA, A.N. Características de composição do leite e métodos de análise. In: CURSO SOBRE A QUALIDADE DO LEITE, 2. 2004, Goiânia. **Anais...**, Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2004. 17p.

OLIVEIRA, S.J.M. *et al.* **Pecuária leiteira de precisão: Análise do leite - Inflação do leite de 2020 a 2022.** Anuário Leite. São Paulo: EMBRAPA. 2022. p.1-115.

ORDÓÑEZ, P.J.A. **Tecnologia de alimentos: Alimentos de origem animal.** Porto Alegre: ARTMED, 2005.

ORMSTON, S. *et al.* Implications of organic dairy management on herd performance and milk fatty acid profiles and interactions with season. **Foods**, v.12, n.8, e1589, 2023.

PACCHIAROTTI, V.; MENDES, J.; FERREIRA, L. Produção do leite A2 e melhoramento genético do rebanho. **Revista Interdisciplinar de Saúde e Educação**, v.1, n.2, 2020.

PAL, S. *et al.* Milk intolerance, beta-casein and lactose. **Nutrients**, v.7, n.9, p.7285-7297, 2015.

PEREIRA, C.S. **Leite tipo A2: Avaliação do conhecimento e percepção de consumidores de produtos lácteos**. 2022, 69f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2022.

QUEIROZ, V.A.O.; ASSIS, A.M.O.; COSTA, H.R.J. Efeito protetor da lactoferrina humana no trato gastrointestinal, **Revista Paulista de Pediatria**, v.31, n.1, p.90-5, 2013.

RAȚU, R.N. *et al.* Effects of dairy cows management systems on the physicochemical and nutritional quality of milk and yogurt, in a north-eastern Romanian farm. **Agriculture**, v.13, n.7, e1295, p.1-20, 2023.

RODRIGUES, M.H.D. *et al.* Frequências alélicas e genótípicas do gene da beta-caseína do leite em bovinos da raça Curraleiro Pé Duro criados no estado do Tocantins. **Peer Review**, v.5, n.22, p.482-499, 2023.

KOCHAR, S. **Difference between A1 and A2 cow milk, and organic and grass-fed milk**. 2020. Disponível em: smritikochar.com. Acesso em: 9/out./2024.

SAITO, T. *et al.* Isolation and structural analysis of antihypertensive peptides that exist naturally in Gouda cheese. **Journal of Dairy Science**, v.83, p.1434-1440, 2000.

SANT'ANA, A.M.S. *et al.* Fatty acid, volatile and sensory profiles of milk and cheese from goats raised on native semiarid pasture or in confinement. **International Dairy Journal**, v.91, p.147-154, 2019.

SCHWENDEL, B.H. *et al.* Invited review: Organic and conventionally produced milk - An evaluation of factors influencing milk composition. **Journal Dairy Science**, v.98, p.721-746, 2015.

SCIENCO BIOTECH. **Pesquisas**. 2023. Disponível em: <<https://materiais.scienco.bio.br/conheca-o-teste-para-o-leite-a2a2>>. Acesso em: 17 nov. de 2024.

SILVA, B.S. **Leite A2A2 e inovações no mercado de derivados laticínios: uma revisão da literatura**. Trabalho de Conclusão de Curso (Química Industrial) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2024.

SILVA J.M.S. **Influência dos sistemas de produção agrossilvipastoril e convencional na composição do leite e nas propriedades físico-químicas e sensoriais do iogurte natural integral**. 2021. 130f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2021.

SILVA, N.N. *et al.* Casein micelles: from the monomers to the supramolecular structure. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.22, p.1-15, 2019.

SIQUEIRA, K.B. **O mercado consumidor de leite e derivados**. Ed. 120, Juiz de Fora: EMBRAPA, 2019.

SHOOK J.E., BURKS T.F. Peripheral mu-opioid receptors mediate small intestinal transit (SIT) but not analgesia in mice. **Fed. Proc.**, v.45, p.1344-1351, 1986.

SMACCHI E.; GOBBETTI M. Bioactive peptides in dairy products: synthesis and interaction with proteolytic enzymes. **Food Microbiology**, v.17, p.129-141, 2000.

STANTON, C. *et al.* Influence of pasture feeding on milk and meat products in terms of human health and product quality. **Irish Journal of Agricultural and Food Research**, v.59, n.2, 292-302, 2021.

STANTON, C.; BERESFORD, T.; HOGAN, S. Production, composition, and nutritional properties of organic milk: A critical review. **Foods**, v.13, n.4, p.550, 2024.

STEPHANI, R.; PERRONE, I.T. Balanço de Massa Aplicado a Tecnologia de Produção do Leite Condensado: Considerações Teóricas. **Revista Instituto de Laticínios “Cândido Tostes”**, v.67, n.387, p.49-56, 2012.

YAMAUCHI, S. *et al.* Terahertz Time-Domain Spectroscopy to Identify and Evaluate Anomer in Lactose. **American Journal of Analytical Chemistry**, v.4, n.12, p.756-762, 2013.

TIMM, C.D.; OLIVEIRA, D.S. Nova Legislação de Leite no Brasil. **Ciência & Tecnologia Veterinária**. p.1-10, 2005. Disponível em:<<http://fvvet.ufpel.tche.br/inspleite/documentos/prelo/legisla.pdf>> Acesso em: 03 nov. de 2024.

TRUSWELL, A.S. The A2 milk case: A critical review. **European Journal of Clinical Nutrition**, v.59, p.623-631, 2005.

WESTHOFF, T.A.; BORCHARDT, S.; MANN, S. Invited review: Nutritional and management factors that influence colostrum production and composition in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.107, n.7, p.4109-4128, 2024.

WOODFORD, K. **Devil In The Milk: Illness, health, and the politics of A1 and A2 milk**. 2.ed. New Zealand, Chelsea Green Publishing Company, 2007. 257p.

ZOCCAL, R. Consumo de leite e derivados no Brasil. **Boletim CBLeite**, v.7, n.17, p.11-14, 2013.

ZOGHBI, S. *et al.* Beta-Casomorphin-7 regulates the secretion and expression of gastrointestinal mucins through a mu-opioid pathway. **American Journal of Physiology**, v.290, p.13-1105, 2006.

CAPÍTULO II

Aspectos físico-químicos e nutricionais do leite A2 sob diferentes sistemas de produção

Artigo conforme as normas da revista:

Ciência Animal Brasileira

Aspectos físico-químicos e nutricionais do leite A2 sob diferentes sistemas de produção

Physique-chemical and nutritional aspects of A2 milk under different production systems

K.V.M.S. Resende, ^{a*}, T.V. Cavalcante ^b

^a *Mestranda em Zootecnia Tropical, Pós-Graduação em Zootecnia Tropical, Universidade Federal do Piauí - UFPI, Campus Ministro Petrônio Portela, Teresina, Piauí, Brasil.*

^b *Professora Adjunta, Departamento de Zootecnia Tropical, Universidade Federal do Piauí - UFPI, Campus Ministro Petrônio Portela, Teresina, Piauí, Brasil.*

*Autor correspondente: K.V.M.S. Resende; E-mail: kathleen.resende@ufpi.edu.br.

Resumo: Os sistemas de manejo exercem influência significativa na composição do leite e colostro de vacas mestiças A2, afetando parâmetros nutricionais e qualitativos desses produtos. Este estudo avaliou os impactos dos sistemas de manejo convencional (CON) e orgânico (ORG) sobre variáveis físico-químicas, incluindo gordura (GOR), proteína (PROT), lactose (LAC), densidade (DEN), pH e extrato seco desengordurado (ESD). Foram analisadas amostras de leite (L) e colostro (C) de vacas com o genótipo A2A2 provenientes de diferentes grupos quanto às ordens de lactação. Os resultados indicaram que o manejo ORG proporcionou maiores concentrações de GOR-C e um perfil lipídico mais equilibrado. Em contrapartida, o sistema CON apresentou maior teor de PROT-L e PROT-C, além de maior DEN-L. A ordem de lactação também influenciou significativamente as variáveis analisadas, com vacas na 2ª e 3ª lactações apresentando melhores parâmetros nutricionais. Os pH-L e pH-C não sofreram alterações significativas em relação aos sistemas de manejo ou ordem de lactação. Conclui-se que o manejo ORG favorece a qualidade GOR-C, enquanto o manejo CON proporciona maior estabilidade na composição PROT-L. Esses achados destacam a importância do manejo adequado na produção leiteira e reforçam a necessidade de estratégias nutricionais e genéticas para otimizar a qualidade dos produtos lácteos.

Palavras-chave: bovinocultura leiteira, composição nutricional, criação animal

Abstract: Management systems have a significant influence on the composition of milk and colostrum from A2 crossbred cows, affecting nutritional and qualitative parameters of these products. This study evaluated the impacts of conventional (CON) and organic (ORG) management systems on physicochemical variables, including fat (GOR), protein (PROT), lactose (LAC), density (DEN), pH and defatted dry extract (ESD). Milk (M) and colostrum

(C) samples from cows with the A2A2 genotype from different groups regarding lactation orders were analyzed. The results indicated that ORG management provided higher concentrations of GOR-C and a more balanced lipid profile. In contrast, the CON system presented higher levels of PROT-L and PROT-C, in addition to higher DEN-L. Lactation order also significantly influenced the variables analyzed, with cows in the 2nd and 3rd lactations presenting better nutritional parameters. The pH-L and pH-C did not undergo significant changes in relation to the management systems or lactation order. It is concluded that the ORG management favors the GOR-C quality, while the CON management provides greater stability in the PROT-L composition. These findings highlight the importance of adequate management in dairy production and reinforce the need for nutritional and genetic strategies to optimize the quality of dairy products.

Key words: dairy cattle farming, nutritional composition, animal breeding

1. Introdução

O consumo de leite faz parte da vida humana desde a infância, começando pela amamentação materna e depois integrando-se à alimentação diária. Este líquido nutritivo é composto majoritariamente por água, mas também contém proteínas, gorduras, carboidratos, enzimas, minerais e vitaminas. Esse perfil nutricional explica a popularidade do leite e seus derivados entre aqueles que procuram enriquecer sua dieta. É crucial observar que a composição do leite pode variar com base em fatores como a espécie do animal, raça, estágio da lactação, idade, condições ambientais, fisiológicas, patológicas e nutricionais [1; 2].

A produção leiteira no Brasil alcançou cerca de 35,30 bilhões de litros em 2021, estando amplamente distribuída por todo o país, onde a produção de leite cresceu 2,8% no terceiro trimestre de 2024 em comparação ao mesmo período de 2023 que indicou um aumento de 3,6% na produção e 3% no consumo, refletindo sinais de recuperação econômica e dos impactos ocasionados pela pandemia; e ainda em contraste, a produção em 2022 que apresentou uma queda de 5% em relação ao ano de 2019, atingindo 23,7 milhões de toneladas [3; 4]. Dentro desse contexto, estima-se que a produção do leite A2A2 corresponda a 20% do total produzido no Brasil.

As proteínas do leite são classificadas em dois grandes grupos: (i) caseínas, retratam aproximadamente 80% das proteínas lácteas totais; e (ii) proteínas do soro, que representam 20% também destas mesmas proteínas do leite [5]. Nos últimos tempos, o interesse por produtos lácteos tem aumentado, especialmente nas discussões sobre os possíveis efeitos da β -caseína A1 na saúde humana. As variantes β -caseína A1 e β -caseína A2 diferem entre si pela presença

70 de um aminoácido diferente na posição 67 da cadeia peptídica: histidina (His-67) na variante
71 A1 e prolina (Pro-67) na variante A2. O leite designado como 'A1' pode ser resultante de
72 homozigose (A1A1) ou heterozigose (A1A2), enquanto o leite 'A2' é caracterizado pela
73 homozigose (A2A2) exclusivamente [6].

74 Nos primeiros anos deste século, surgiu a hipótese de que a variante A1 da β -caseína
75 poderia ter impactos negativos na saúde dos consumidores. Estudos sugerem que a digestão do
76 leite de vaca contendo a variante A1 pode levar à produção do peptídeo opioide β -casomorfina-
77 7 (BCM-7), associado a potenciais problemas como distúrbios gastrointestinais e efeitos pró-
78 inflamatórios [7]. Em contraste, a presença de prolina na β -caseína A2 impede ou minimiza a
79 liberação de BCM-7, resultando na formação do peptídeo β -casomorfina-9 (BCM-9) em
80 quantidades reduzidas [8; 9].

81 As potenciais consequências negativas da variante A1 da caseína em humanos têm sido
82 objeto de intensos debates, atraindo a atenção de órgãos de segurança alimentar e das indústrias
83 pecuária e leiteira. No entanto, a comunidade científica continua a conduzir diversos estudos
84 para chegar a conclusões definitivas sobre esses efeitos e para formular recomendações de
85 consumo apropriadas [10;11].

86 Estudos recentes têm revelado a frequência e os efeitos dos alelos A1 e A2 da β -caseína
87 na composição e no perfil proteico do leite em diversas raças. No entanto, grande parte da
88 pesquisa ainda é focada em animais de Puro de Origem (PO), principalmente das raças Gir
89 leiteiro e Holandesa [5].

90 Dado que 70% do leite produzido no Brasil provém de animais mestiços e a falta de
91 padronização racial pode resultar em lacunas nas informações genéticas, torna-se essencial
92 realizar pesquisas com evidências científicas sobre os efeitos das variantes A1 e A2 da β -caseína
93 na composição do leite, além de caracterizar geneticamente esses rebanhos [12].

94 Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo investigar as diferenças entre
95 os sistemas de manejo convencional e orgânico em rebanhos de vacas mestiças e determinar a
96 influência dos alelos A2 da β -caseína nos constituintes do leite. Além de oferecer uma
97 compreensão abrangente de como diferentes práticas de manejo impactam a composição do
98 leite em vacas mestiças e avaliar os potenciais benefícios do alelo A2, associado a efeitos
99 positivos na saúde humana, e ao desenvolvimento de estratégias de manejo mais eficazes e
100 melhores à qualidade do leite produzido no Brasil.

101

102

103 2. Materiais e Métodos

104 2.1 Parecer do comitê de ética

105 Este trabalho foi submetido a avaliação e apreciação na Comissão de Ética no Uso de
106 Animais da Universidade Federal do Piauí (CEUA/UFPI) e aprovado em 18 de março de 2022,
107 através do protocolo N° 709/2022.

108

109 2.2. Local e rebanho do estudo

110 O presente experimento foi realizado no período de abril de 2021 a dezembro de 2022. Os
111 animais utilizados neste experimento são provenientes de dois rebanhos leiteiros, de duas
112 fazendas distintas, nos seguintes manejos:

113 (i) **Convencional (CON):** realizada na Fazenda ‘CON’, localizada no município de
114 Paragominas, Estado do Pará; onde o rebanho estudado era composto por 10 vacas
115 mestiças Holandesa (HO) x Girolanda (GL), com composições genéticas: $\frac{1}{2}$
116 HO+GL e $\frac{3}{4}$ HO+GL, em período de lactação sob sistema de instalação Compost
117 Barn; a dieta foi a base de: silagem de milho, milho, farelo de soja, e suplementação
118 com NutronMilk da Nutron®. Ordenha feita às 4h da manhã e às 16h da tarde.

119 (ii) **Orgânico (ORG):** realizada na Fazenda ‘ORG’, localizada em Brasília, no Distrito
120 Federal; onde o rebanho estudado era composto por 10 vacas mestiças Jersey (JE)
121 x Holandesa (HO) x Girolanda (GL), com composição genética: $\frac{1}{2}$ JE e $\frac{1}{4}$ HO+GL,
122 em período de lactação, onde a coleta por ordenha era toda manual; a dieta de
123 concentrados é oferecida somente na ordenha, aproximadamente 2kg por animal,
124 são duas ordenhas, portanto, 4kg de concentrado por animal, por dia. Existe um
125 beneficiamento de produto de hortaliças orgânicas, as quais são oferecidas aos
126 animais. Após a ordenha os animais vão a pasto até a próxima ordenha. O sistema
127 tem estrela africana e Tânzania (*Panicum Maximum*). Durante o período de
128 estiagem é oferecido silagem de Sorgo. A ordenha era feita às 5h da manhã e as
129 15h da tarde. Por meio de ordenha mecânica monitorada.

130

131 2.3. Análise dos constituintes do leite e colostro das vacas A2

132 Os rebanhos já eram genotipados, todas vacas com genótipo A2A2. As amostras
133 coletadas foram congeladas e posteriormente foram descongeladas em temperatura refrigerada
134 e acondicionadas em frascos com conservante bronopol, sendo enviadas ao Laboratório de
135 Qualidade do Leite (LQL), do Centro de Pesquisa em Alimentos (CPA), da Escola de
136 Veterinária e Zootecnia (EVZ), da Universidade Federal de Goiás (UFG), para determinação

137 da gordura (GOR), proteína total (PROT), lactose (LAC) e extrato seco desengordurado (ESD)
138 em instrumento de absorção infravermelha.

139 A determinação da densidade (DEN) foi a 15°C, e do potencial hidrogeniônico (pH)
140 foram efetuadas no Núcleo de Estudos, Pesquisas e Procedimentos de Alimentos NUEPPA, da
141 Universidade Federal do Piauí (UFPI), por meio do equipamento ultrassônico portátil
142 analisador de leite, o Ekomilk® (Cap-Lab Ind. e Com. Ltda.). Seguindo-se as recomendações
143 do fabricante, foi selecionado o modo de análise de leite cru no aparelho.

144

145 **2.4 Análise estatística**

146 Inicialmente, os dados referentes ao teor de gordura, proteína, lactose, extrato seco total,
147 extrato seco desengordurado, caseína, densidade relativa a 15°C e pH do leite foram submetidos
148 ao teste de Shapiro-Wilk para verificar a distribuição de normalidade. Como os dados não
149 apresentaram distribuição normal, optou-se pelo modelo linear generalizado (GLM) com
150 distribuição gamma para utilização da estatística paramétrica.

151 Para efetuar o ajuste do modelo linear generalizado (GLM), foi utilizado o procedimento
152 GENMOD para análise da associação entre as variáveis do leite (GOR-L, PROT-L, LAC-L,
153 ESD-L, DEN-L e pH-L), e do colostro (GOR-C, PROT-C, LAC-C, ESD-C, DEN-C e pH-C);
154 onde, considerou-se a idade dos animais como covariável, para as duas Fazendas CON e ORG,
155 sob sistemas de manejo convencional (CON) e orgânico (ORG), mediante quatro períodos (ou
156 ordens) de lactação das vacas produtoras de leite β -caseína A2, foram utilizados os seguintes
157 agrupamentos:

- 158 (i) Grupo 1, representa a 2ª (segunda) ordem de lactação;
- 159 (ii) Grupo 2, retrata a 3ª (terceira) ordem de lactação;
- 160 (iii) Grupo 3, corresponde a 4ª (quarta) e 5ª (quinta) ordem de lactação; e
- 161 (iv) Grupo 4, caracteriza a 5ª (quinta) ordem de lactação.

162 As médias foram comparadas através do teste t, com correção de Bonferroni a 5% de
163 probabilidade, utilizando-se o programa computacional Statistical Analysis System® Academy
164 [13].

165

166

167

168

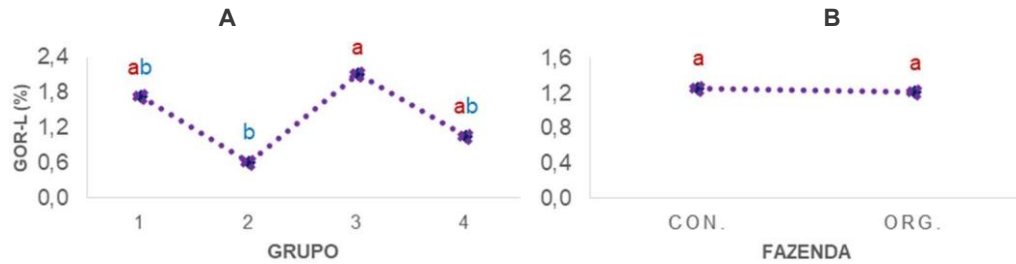
169

170 3. Resultados e Discussão

171 3.1 Gordura no leite (GOR-L)

172 As médias das variáveis do leite de vacas mestiças com β -caseína A2, para cada grupo
 173 (ou ordem) de lactação e para cada Fazenda CON e ORG, são observadas na Figura 1 (A e B),
 174 respectivamente.

175 Figura 1. Valores médios do componente físico-químico GOR-L.



176 Letras diferentes nos gráficos apresentam diferença significativa ($p < 0,05$), segundo teste t.

177 Legenda: GOR-L: gordura no leite, em % (percentual); CON: convencional; ORG: orgânico.

178

179 A análise da composição de gordura (GOR) no leite (L), revelou diferenças
 180 significativas ($p < 0,05$) entre os grupos de ordens de lactação (Figura 1A), com o 3ª grupo
 181 apresentando o maior percentual médio de 2,12%, e o 2ª grupo o menor, com 0,61%.

182 No entanto, ao comparar os sistemas de manejo animal nas fazendas – convencional
 183 (CON) e orgânico (ORG) – não foram encontradas diferenças significativas ($p > 0,05$) no
 184 percentual de GOR-L (Figura 1B).

185 [14] reportaram o efeito da ordem de lactação sobre a produção e composição do leite
 186 em vacas mestiças, onde foi demonstrado que fêmeas multíparas (com duas ou mais parições)
 187 apresentaram diferenças na produção e composição do leite em comparação às primíparas
 188 (primeira parição), sugerindo que a maturidade fisiológica e o desenvolvimento mamário mais
 189 completo em lactações posteriores podem influenciar positivamente o teor de GOR-L. [15] que
 190 trabalharam com a relação da composição química do leite como nível de produção, estágio de
 191 lactação e ordem de parição de vacas mestiças, observaram diferenças significativas para o teor
 192 de GOR-L conforme a ordem de lactação, onde os percentuais variaram de 3,24 a 3,91%, ou
 193 seja, vacas multíparas tendem a produzir leite com maior teor GOR-L em comparação às
 194 primíparas.

195 [16] analisando a produção e composição do leite em função da raça e estágio de
 196 lactação, reportaram que fatores como o estágio da lactação também influenciam a porcentagem
 197 de GOR-L, com aumento dos teores à medida que a lactação avança. [17] analisando a produção
 198 e composição do leite de vacas mestiças em condições experimentais pelo território brasileiro,

199 encontram diferenças estatísticas para teores de GOR-L, cujas médias variaram entre 3,57 e
200 4,00%; onde foi salientando que durante o período de lactação, a vaca mobiliza reservas
201 corporais resultando em maior teor de GOR-L, e que dietas nutricionais que contenham níveis
202 adequados de fibra podem estabilizar esse percentual de gordura ao longo da lactação.

203 [18] ressaltou a importância de como a composição do leite é influenciada por diversos
204 fatores, incluindo genética, nutrição, estágio de lactação e manejo; embora alguns estudos
205 indiquem que o sistema de manejo pode afetar componentes específicos do leite, onde os
206 resultados referentes ao teor GOR-L nem sempre apresentam consenso na literatura, podendo
207 variar conforme as condições específicas de cada estudo (p.e. região geográfica, dieta
208 nutricional, etc.). [19] que trabalhou com o manejo alimentar de vacas leiteiras em unidades de
209 produção ORG em transição ao CON, não identificou variações relevantes nos teores GOR-L
210 produzidos em ambos os sistemas de produção (CON e ORG).

211 [20] que analisaram a influência da época de parto de com a produtividade de leite em
212 sistema CON e ORG, também não encontraram – em média para GOR-L – diferenças
213 estatísticas entre as duas unidades de produção (CON: 4,17%; e ORG: 4,13%). Em
214 contrapartida, [21] analisando a composição do leite cru proveniente de produção leiteira em
215 sistemas CON e ORG, encontraram para o teor de GOR-L diferenças estatísticas, onde o manejo
216 CON obteve valor de 4,26%, e para o manejo ORG mostrou valor de 4,23%, implicando que a
217 análise foi influenciada por uma dieta muito baseada em alimentos concentrados. [22]
218 analisando a comparação da composição química e perfil nutricional do leite orgânico e
219 convencional, também observou significância para o teor de GOR-L, com valores de 3,34% e
220 de 2,74% em sistemas de produção CON e ORG, respectivamente.

221 [23] avaliando a produção, composição e propriedades nutricionais do leite,
222 encontraram significâncias estatísticas para o teor de GOR-L, com variações para o manejo
223 CON de 3,70 a 4,00%, e para o manejo ORG variações de 3,8 a 4,00%, salientando que esses
224 dados podem variar dependendo da dieta animal.

225 Também é pertinente observar o tipo de relação à composição do leite A2 com as
226 verificações deste estudo, pois o genótipo A2A2 da β -caseína tem atraído grande interesse
227 devido aos seus potenciais benefícios para a saúde e às diferenças na composição do leite em
228 relação ao leite A1. Ou seja, estudos indicam que as vacas com genótipo A2A2 podem
229 apresentar uma composição lipídica diferenciada devido à interação genética com fatores
230 metabólicos e nutricionais. Por exemplo, [24] analisando propriedades nutricionais e funcionais
231 do leite A2, observaram que vacas com o leite A2 pode ter uma proporção mais equilibrada de

232 GOR-L, o que contribui para sua qualidade nutricional e maior apelo em mercados que
233 valorizam alimentos funcionais.

234 [25] *apud* [26] reportam que o manejo orgânico, adicionado a dietas à base de pastagens
235 frescas com alto teor de fibra, pode maximizar o potencial genético em bovinos leiteiros A2A2,
236 resultando em maiores teores de GOR-L benéficos (p.e. ácido linoleico conjugado [CLA] e
237 ômega-3). A ordem de lactação também pode influenciar a expressão metabólica nas vacas com
238 β -caseína A2, ou seja, em lactações posteriores, as vacas podem modificar a conversão de
239 nutrientes em componentes do leite [27], como por exemplo o teor de GOR-L, o que poderia
240 explicar os resultados encontrados neste estudo, onde a maior concentração foi na 3ª lactação.

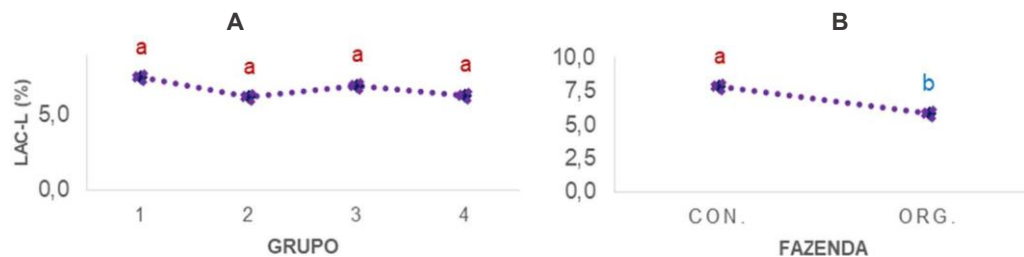
241

242 3.2 Lactose no leite (LAC-L)

243 A Figura 2 (A e B) exibe a média da variável do leite de vaca mestiça com β -caseína
244 A2, conforme o grupo da ordem de lactação, e em cada Fazenda CON e ORG, respectivamente.

245

246 Figura 2. Valores médios do componente físico-químico LAC-L.



247 Letras diferentes nos gráficos apresentam diferença significativa ($p < 0,05$), segundo teste t.

248 Legenda: LAC-L: lactose no leite, em % (percentual); CON: convencional; ORG: orgânico.

249

250 A análise dos teores de lactose no leite (LAC-L) (Figura 2A), revelou que não houve
251 diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os grupos de ordens de lactação, indicando que a
252 paridade das vacas não influenciou este componente específico do leite.

253 No entanto, ao comparar os sistemas de manejo (Figura 2B), observou-se uma diferença
254 significativa ($p < 0,05$) entre as fazendas, em que o sistema CON apresentou uma média de LAC-
255 L de 7,80%, superior à média de 5,78% observada no sistema ORG.

256 [15], revelaram diferenças significativas para o teor de LAC-L, cujo percentual diminui
257 de acordo a ordem de lactação sob a parição, ou seja, o valor de 4,64% foi obtido de vacas
258 primíparas, enquanto o valor de 4,54% foi observado em vacas múltiparas. [17] encontram
259 diferenças estatísticas para componentes do leite LAC-L, onde as médias variaram entre 4,37 a
260 4,54%, e salientaram que níveis nutricionais adequados durante a lactação das vacas, garantem
261 produção consistente em quantidade e qualidade deste constituinte do leite.

262 [21] encontrou diferenças significativas no teor de LAC-L entre os dois sistemas de
 263 produção (CON: 4,65% e ORG: 4,59%), onde as variações observadas foram atribuídas
 264 principalmente a fatores sazonais. [22] encontrou significância entre os distintos manejos de
 265 produção para LAC-L, onde encontraram valores de 3,87% para o sistema CON, e 4,18% para
 266 o sistema ORG. [23] encontraram significâncias estatísticas para o teor de LAC-L entre as
 267 unidades de produção, em que para o manejo CON encontraram valores variando entre 4,70 a
 268 5,00%, enquanto para o manejo ORG as variações foram entre 4,80 a 5,00%.

269 Em contrapartida, [28] que trabalharam na comparação detalhada entre leite no manejo
 270 CON e ORG de rebanhos leiteiros, informaram que não houve diferenciação significativamente
 271 entre os sistemas de criação para os teores de LAC-L, ou seja, os manejos (CON e ORG) foram
 272 bastante similares entre si e tende a permanecer relativamente constante ao longo das diferentes
 273 lactações.

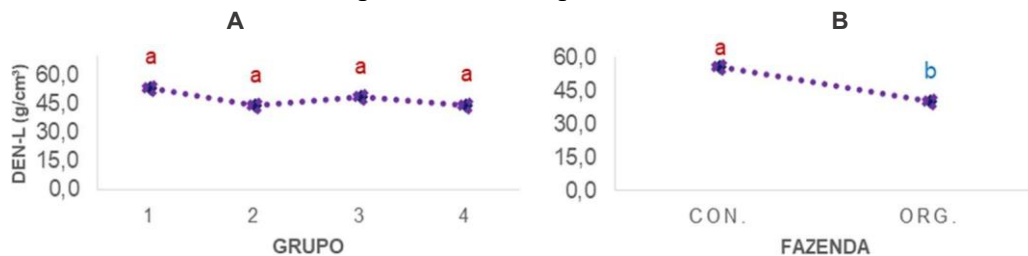
274

275 3.3 Densidade no leite (DEN-L)

276 A Figura 3 (A e B) apresenta a média da variável do leite de vaca mestiça com β -caseína
 277 A2, de acordo com a ordem de lactação e para cada Fazenda CON e ORG, respectivamente.

278

279 Figura 3. Valores médios do componente físico-químico DEN-L.



280 Letras diferentes nos gráficos apresentam diferença significativa ($p < 0,05$), segundo teste de t.

281 Legenda: DEN-L: densidade no leite, em $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$; CON: convencional; ORG: orgânico.

282

283 Já para a densidade no leite (DEN-L) (Figura 3A), não houve diferença significativa
 284 ($p > 0,05$) entre os grupos de ordens de lactação.

285 Mas, entre as fazendas e seus respectivos os sistemas de criação animal (Figura 3B), a
 286 diferença foi significativa ($p < 0,05$) para a variável DEN-L, com o sistema CON apresentando
 287 maior com valor de $55,70 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, em comparação ao ORG que obteve valor de $40,04 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

288 [25] reportaram diferenças significativas para o componente DEN-L, onde os resultados
 289 em média variaram entre $1,03$ a $1,04 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ observado ao longo do período de lactação do
 290 experimento.

291 [18] encontraram significâncias estatísticas para DEN-L quanto ao manejo de produção
 292 CON e ORG (1,35 e 1,31 g.cm⁻³, respectivamente), implicando na sazonalidade em que os
 293 animais foram estudados. Em contrapartida, [22] reportou que para DEN-L houve significância
 294 entre as unidades de manejo, onde o sistema CON obteve o menor valor de 22,85 g.cm⁻³,
 295 enquanto o sistema ORG registrou o valor de 25,58 g.cm⁻³.

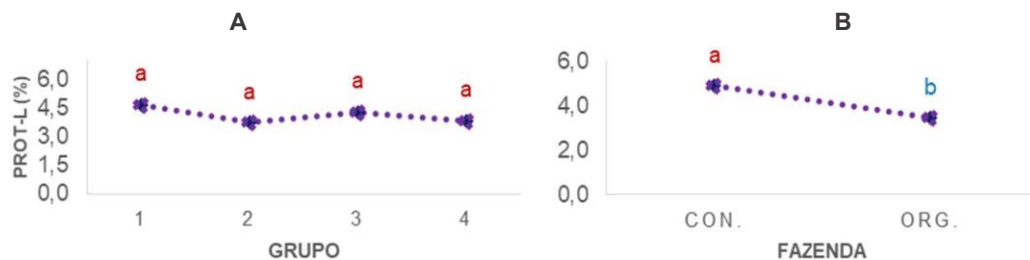
296

297 3.4 Proteína total no leite (PROT-L)

298 A Figura 4 (A e B) exibe a média das variáveis do leite de vacas mestiças com genótipos
 299 A2A2, de acordo com o grupo lactação, e em cada Fazenda (CON e ORG), respectivamente.

300

301 Figura 4. Valores médios do componente físico-químico PROT-L.



302 Letras diferentes nos gráficos apresentam diferença significativa ($p < 0,05$), segundo teste t.

303 Legenda: PROT-L: proteína total no leite, em % (percentual); CON: convencional; ORG: orgânico.

304

305 A análise da proteína total no leite (PROT-L), indicou que não houve diferença
 306 significativa ($p > 0,05$) entre os grupos de ordens de lactação (Figura 4A).

307 Todavia, ao comparar os sistemas de manejo (Figura 4B), observou-se diferença
 308 significativa ($p < 0,05$) entre as fazendas, com o sistema CON apresentando maior percentual
 309 médio de PROT-L (4,89%) em comparação ao sistema ORG (3,46%).

310 [29] trabalhando com qualidade do leite de vacas primíparas e múltiparas, sugeriram
 311 que a ordem de lactação não exerce influência marcante sobre o teor de PROT-L, ou seja, que
 312 este componente do leite pode permanecer relativamente constante (3,43 e 3,45%,
 313 respectivamente) independentemente da paridade das fêmeas. Em contrapartida, [15],
 314 observaram diferenças significativas para o teor de PROT-L, em que os percentuais obtiveram
 315 valores de 3,02 a 3,63%, ou seja, este componente no leite aumenta de acordo com a ordem de
 316 parição, sendo mais elevado em vacas múltiparas. [17] também encontram diferenças
 317 estatísticas, onde as médias para teores de PROT-L variaram entre 3,12 a 3,44%, salientando
 318 que durante o período de lactação a ingestão nutrientes alimentares de alta qualidade, e com

319 energia digestível mantém o teor PROT-L, e reforça a ideia de que uma deficiência nutricional
320 neste período pode comprometer essa composição.

321 [30] que analisou a qualidade do leite produzido em sistemas ORG e CON, não
322 encontrou variação significativa nos níveis de PROT-L, sugerindo que outros fatores, como
323 alimentação e manejo específicos de cada unidade de produção animal, podem desempenhar
324 um papel mais determinante na composição do leite. [20 também não encontraram – em média
325 para PROT-L – diferenças estatísticas entre os dois sistemas de produção (CON: 3,52%; e
326 ORG: 3,51%) em vacas leiteiras neste nesta composição química do leite. Em contrapartida,
327 [21], encontraram para o teor de PROT-L diferenças estatísticas entre sistemas de produção
328 CON (3,43%) e ORG (3,53%). [22], também observou significância para o teor de PROT-L,
329 com valor de 2,68% para o manejo CON, e valor de 2,87% para o manejo ORG. [23]
330 encontraram significâncias estatísticas para o teor de PROT-L, com variações de 3,01 a 3,58%
331 para o manejo CON, e variações de 3,32 a 3,35% para unidades de produção ORG.

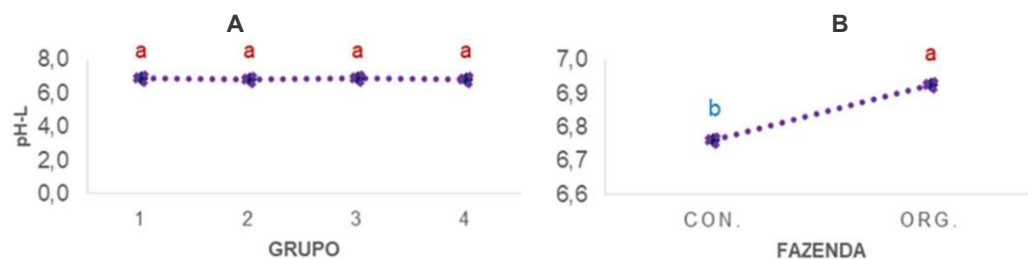
332

333 3.5 Potencial hidrogeniônico no leite (pH-L)

334 A Figura 5 (A e B) apresenta a média da variável do leite de vaca mestiça com β -caseína
335 A2, considerando a ordem de lactação e cada Fazenda CON e ORG, respectivamente.

336

337 Figura 5. Valores médios do componente físico-químico pH-L.



338 Letras diferentes nos gráficos apresentam diferença significativa ($p < 0,05$), segundo teste de t.

339 Legenda: pH-L: potencial hidrogeniônico no leite; CON: convencional; ORG: orgânico.

340

341 E no potencial hidrogeniônico no leite (pH-L) (Figura 5A), não houve diferença
342 significativa ($p > 0,05$) entre os grupos de ordens de lactação.

343 Mas, entre as fazendas e seus respectivos os manejos (Figura 5B) para o componente
344 pH-L houve diferença significativa ($p < 0,05$), cujo sistema de produção CON apresentou menor
345 valor (6,76) em comparação ao manejo ORG que obteve maior valor (6,93).

346 [25], encontraram diferenças estatísticas para o componente pH-L onde os resultados
347 variaram entre 6,93 e 7,11; também observou-se um leve aumento do pH-L com o avanço da
348 lactação das vacas.

349 [31] analisando os efeitos dos sistemas de manejo de vacas leiteiras na qualidade físico-
 350 química e nutricional do leite, encontraram significância para pH-L nos dois sistemas de
 351 produção, onde no manejo CON foi apresentado o valor de 6,51, e para o sistema ORG um
 352 valor de 6,47, implicando que unidade de produção pode influenciar positivamente neste
 353 componente do leite.

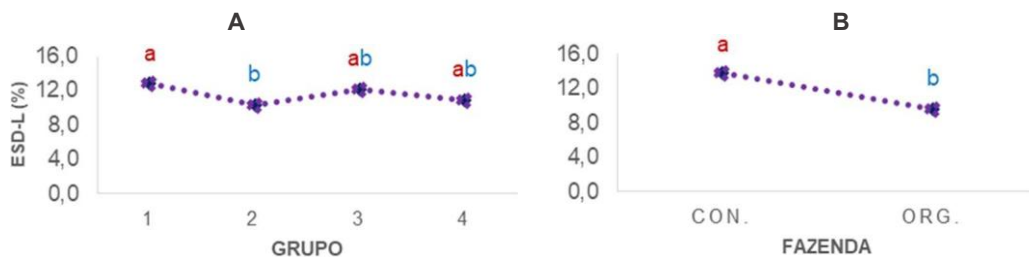
354

355 3.6 Extrato seco desengordurado no leite (ESD-L)

356 A Figura 6 (A e B) exibe a média da variável do leite de vaca mestiça com β -caseína
 357 A2, de acordo com a ordem de lactação e para cada Fazenda CON e ORG, respectivamente.

358

359 Figura 6. Valores médios do componente físico-químico ESD-L.



360 Letras diferentes nos gráficos apresentam diferença significativa ($p < 0,05$), segundo teste de t.

361 Legenda: ESDL-L: extrato seco desengordurado no leite, em % (percentual); CON: convencional; ORG: orgânico.

362

363 No extrato seco desengordurado no leite (ESDL-L) (Figura 6A), houve diferença
 364 significativa ($p < 0,05$) entre os grupos de ordens de lactação; em que o maior percentual médio
 365 foi observado no 1ª grupo das ordens de lactação (12,81%) e o menor percentual foi no 2ª grupo
 366 das ordens de lactação (10,28%).

367 Entre os manejos das fazendas, a diferença para o componente ESDL também foi
 368 significativa ($p < 0,05$), com o sistema CON apresentando maior percentual médio de 13,87%,
 369 em relação ao sistema ORG com 9,58% (Figura 6B).

370 [25] avaliando a composição físico-química de leites em diferentes fases de lactação,
 371 encontraram em média diferenças significativas, reportando um incremento de ESDL-L ao longo
 372 do período de lactação, onde os valores variaram de 7,47 a 10,40%. [15], também revelaram
 373 diferenças significativas para o teor de ESDL-L, cujo aumento percentual foi conforme a ordem
 374 de lactação sob o período de parição, ou seja, o valor de 8,61% observado em vacas primíparas,
 375 e 9,26% registrado em vacas múltíparas.

376 [18] analisando as características físico-químicas e fração lipídica do leite, encontraram
 377 em média significâncias estatísticas quanto ao ESDL-L, em que para o manejo de produção CON

378 o valor foi de 11,63%, e para produção ORG com valor de 11,67%, onde estas pequenas
379 variações observadas foram mais relacionadas à sazonalidade do experimento.

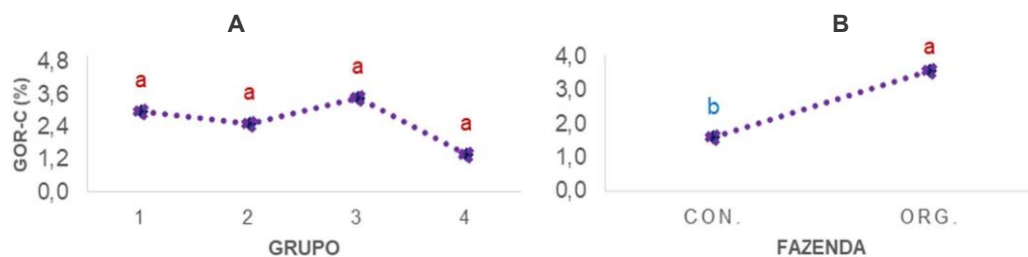
380

381 3.7 Gordura do colostro (GOR-C)

382 A Figura 7 (A e B) apresenta a média da variável do colostro de vaca mestiça com β -
383 caseína A2, em função da ordem de lactação e das Fazendas CON e ORG, respectivamente.

384

385 Figura 7. Valores médios do componente físico-químico GOR-C.



386 Letras diferentes nos gráficos apresentam diferença significativa ($p < 0,05$), segundo teste de t.

387 Legenda: GOR-C: gordura no colostro, em % (em percentual); CON: convencional; ORG: orgânico.

388

389 No colostro, a gordura (GOR-C) (Figura 7A), não houve diferença significativa
390 ($p > 0,05$) entre os grupos de ordens de lactação.

391 Mas entre as fazendas e seus distintos sistemas de manejo (Figura 7B) no componente
392 GOR-C, a diferença foi significativa ($p < 0,05$), com maior média percentual para o sistema ORG
393 (3,57%), em comparação ao manejo CON (1,59%).

394 [32] analisando a composição bioquímica do leite e hormônios da lactação bovina,
395 reportou que as variações significativas no teor de GOR-C entre diferentes ordens de lactação
396 não são comumente observadas. [33] observando fatores que afetam a qualidade do leite bovino
397 sugerem que elementos como a saúde do animal, nutrição e manejo têm maior influência na
398 composição do leite do que a ordem de lactação; embora o teor de GOR-C possa variar ao longo
399 da lactação (entre 14% e 16%), especialmente no terço final, essas variações não estão
400 diretamente relacionadas à ordem de lactação.

401 [34] avaliando os fatores nutricionais que interferem na composição do leite em vacas
402 submetidas a diferentes dietas, concluiu que uma alimentação baseada em pastagens, comum
403 em sistemas ORG, pode aumentar o teor de GOR-C.

404

405

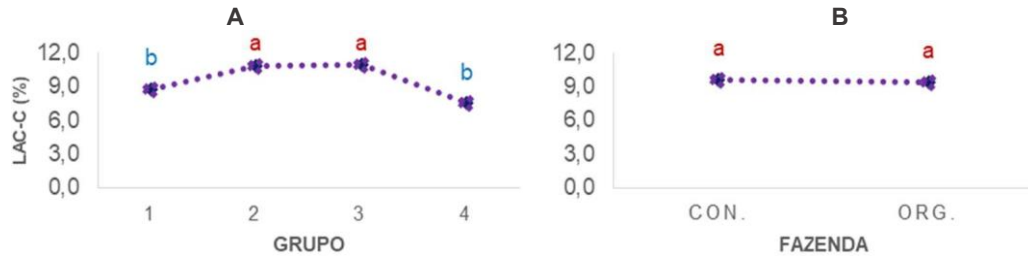
406

407 3.8 Lactose do colostro (LAC-C)

408 A Figura 8 (A e B) mostra a média da variável do colostro de vaca mestiça com β -
409 caseína A2, considerando a ordem de lactação e as Fazendas CON e ORG, respectivamente.

410

411 Figura 8. Valores médios do componente físico-químico LAC-C.



412 Letras diferentes nos gráficos apresentam diferença significativa ($p < 0,05$), segundo teste de t.

413 Legenda: LAC-C: lactose no colostro, em % (em percentual); CON: convencional; ORG: orgânico.

414

415 Para a lactose do colostro (LAC-C) (Figura 8A), houve diferença significativa ($p < 0,05$)
416 entre os grupos de ordens de lactação, e que os Grupos 2 e 3 apresentaram os maiores
417 percentuais médios de 10,88% e 10,99%, respectivamente; enquanto os Grupos 1 e 4 tiveram
418 os menores valores de 9,22% e 9,00%, respectivamente.

419 Essa diferença pode estar relacionada à adaptação metabólica da vaca ao longo das
420 lactações. Vacas de primeira cria tendem a apresentar menor eficiência metabólica, o que pode
421 impactar a síntese de LAC-C. A tendência de redução até o Grupo 4 pode estar associada ao
422 envelhecimento do animal e ao desgaste fisiológico.

423 Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre as fazendas com seus respectivos
424 sistemas de manejo (CON e ORG) (Figura 8B).

425 O fato de não haver diferenças significativas entre os sistemas de manejo sugere que a
426 dieta e as condições ambientais entre os sistemas CON e ORG não impactaram
427 significativamente a produção de LAC-C. Isso pode ser um indicativo de que o fator genético
428 e o status metabólico das vacas possuem maior influência sobre esse constituinte.

429

430 3.9 Densidade do colostro (DEN-C)

431 A Figura 9 (A e B) apresenta a média da variável do colostro de vaca mestiça com β -
432 caseína A2, considerando a ordem de lactação e as Fazendas CON e ORG, respectivamente.

433

434

435

436

437 Figura 9. Valores médios do componente físico-químico DEN-C.



438 Letras diferentes nos gráficos apresentam diferença significativa ($p < 0,05$), segundo teste de t.

439 Legenda: DEN-C: densidade no colostro, em $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$; CON: convencional; ORG: orgânico.

440

441 Já para densidade do colostro (DEN-C) (Figura 9A), as ordens de lactação apresentaram
 442 diferenças significativas ($p < 0,05$), cujas maiores médias foram observadas no 2ª grupo ($80,05$
 443 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) e 3ª grupo ($80,25 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) de ordens de lactação, enquanto as menores médias foram
 444 observadas no 1ª grupo ($70,00 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) e 4ª grupo ($69,40 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) de ordens de lactação.

445 Essa tendência pode ser atribuída à maior concentração de sólidos no colostro durante
 446 essas fases, já que vacas no auge da produtividade (meia-idade) apresentam melhor eficiência
 447 na síntese de proteínas, minerais e lipídios. A redução da DEN-C nas vacas do 1ª e 4ª grupo de
 448 ordens de lactação sugere menor capacidade de concentração de nutrientes, sendo que vacas
 449 mais jovens ainda estão em adaptação metabólica e vacas mais velhas podem ter menor
 450 capacidade de transferir sólidos para o colostro.

451 E entre os sistemas de manejos (CON e ORG) nas fazendas, não houve significância
 452 ($p > 0,05$) (Figura 9B).

453 A ausência de diferenças significativas entre os sistemas de manejo indica que,
 454 independentemente da dieta e do tipo de criação, o metabolismo da vaca continua sendo o
 455 principal fator determinante da DEN-C. Isso pode estar relacionado ao fato de que a composição
 456 do colostro é altamente conservada evolutivamente para garantir a imunidade passiva dos
 457 bezerros.

458

459 3.10 Proteína total do colostro (PROT-C)

460 A Figura 10 (A e B) mostra a média da variável do colostro de vaca mestiça com β -
 461 caseína A2, de acordo com a ordem de lactação e as Fazendas CON e ORG, respectivamente.

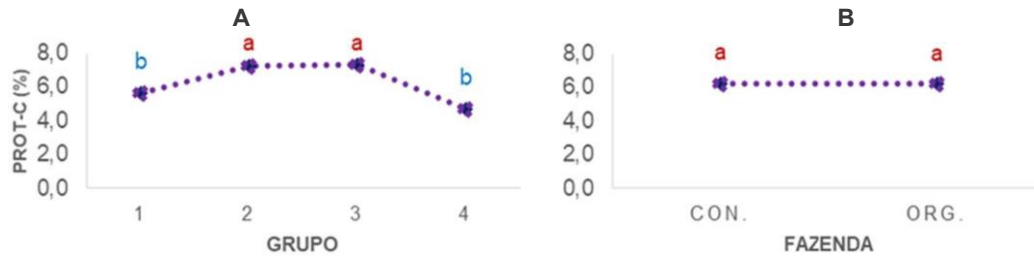
462

463

464

465

466 Figura 10. Valores médios do componente físico-químico PROT-C.



467 Letras diferentes nos gráficos apresentam diferença significativa ($p < 0,05$), segundo teste de t.

468 Legenda: PROT-C: proteína total no colostro, em % (em percentual); CON: convencional; ORG: orgânico.

469

470 A proteína total do colostro (PROT-C) (Figura 10A), apresentou diferença significativa
 471 ($p < 0,05$) entre os grupos de ordens de lactação, onde as maiores percentuais médios foram
 472 observadas no 2ª e 3ª grupo com 7,22% e 7,33% respectivamente; enquanto 1ª grupo de ordem
 473 lactação apresentou o menor valor de 5,63%.

474 Entre as fazendas em seus respectivos sistemas de manejos (CON e ORG), não houve
 475 diferença significativa ($p > 0,05$) (Figura 10B).

476 [29] informou que não foram observadas variações significativas no teor de PROT-C
 477 entre diferentes ordens de lactação. [35] observando a administração de colostro ao bezerro
 478 neonato sugere que os componentes de PROT-C são essenciais para a imunidade passiva,
 479 podendo variar conforme o manejo e a saúde da vaca, mas não necessariamente em função da
 480 ordem de lactação.

481 [36] reportou que a composição do colostro é influenciada por diversos fatores,
 482 incluindo raça, idade da vaca, duração do período seco, principalmente quanto manejo CON e
 483 ORG. No entanto, a literatura indica que as unidades de produções (CON e ORG), podem não
 484 exercer influência significativa sobre o teor de PROT-C.

485 Além disso, a qualidade do colostro pode apresentar variações significativas entre
 486 diferentes rebanhos e indivíduos; contudo, essas variações não são necessariamente atribuídas
 487 ao tipo de manejo (CON e/ou ORG), mas sim a uma combinação de fatores genéticos,
 488 nutricionais e sanitários [37].

489

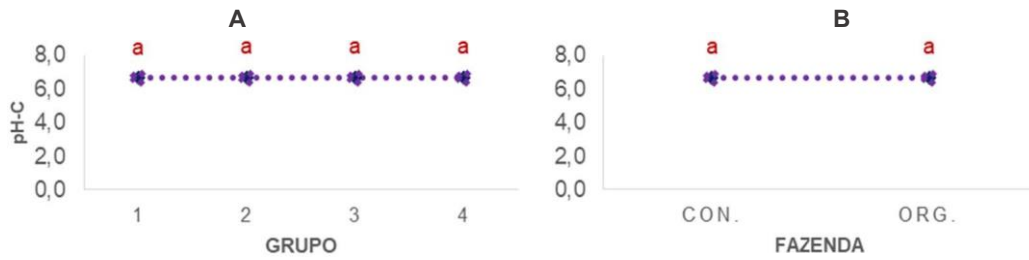
490 3.11 Potencial hidrogeniônico do colostro (pH-C)

491 A Figura 11 (A e B) exibe a média da variável do colostro de vaca mestiça com β -
 492 caseína A2, considerando a ordem de lactação e as Fazendas CON e ORG, respectivamente.

493

494

495 Figura 11. Valores médios do componente físico-químico pH-C.



496 Letras diferentes nos gráficos apresentam diferença significativa ($p < 0,05$), segundo teste de t.

497 Legenda: pH-C: potencial hidrogeniônico no colostro; CON: convencional; ORG: orgânico.

498

499 E para o potencial hidrogeniônico do colostro (pH-C), não houve diferença significativa
 500 ($p > 0,05$), tanto para os grupos de ordens de lactação (Figura 11A) quanto para os sistemas de
 501 manejo (CON e ORG) nas fazendas (Figura 11B) em estudo.

502 A ausência de diferenças significativas tanto entre os grupos das ordens de lactação
 503 quanto entre os sistemas de manejo sugere que o pH do colostro é um parâmetro relativamente
 504 estável e menos influenciado por fatores como idade da vaca e tipo de dieta. O pH do colostro
 505 está intimamente ligado à sua composição proteica, especialmente à presença de
 506 imunoglobulinas. O pH do colostro bovino tende a permanecer em um intervalo estreito, pois
 507 valores muito elevados ou muito baixos podem comprometer a estabilidade das
 508 imunoglobulinas e reduzir sua eficácia na transferência de imunidade ao bezerro.

509 O fato de não haver diferenças entre os sistemas de manejo reforça a hipótese de que a
 510 regulação fisiológica da vaca sobrepõe-se aos efeitos externos nesse parâmetro.

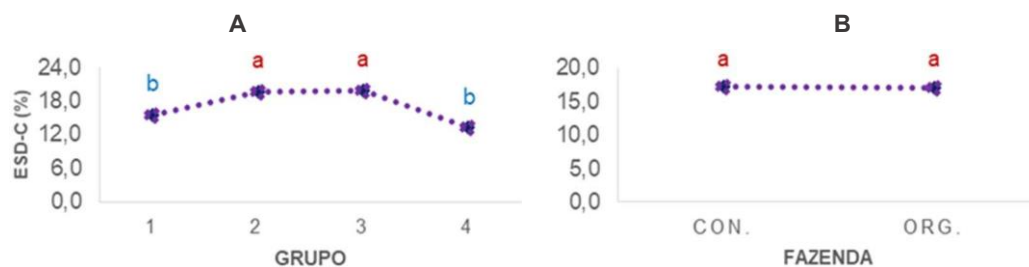
511

512 3.12 Extrato seco desengordurado do colostro (ESD-C)

513 A Figura 12 (A e B) apresenta a média da variável do colostro de vaca mestiça com β -
 514 caseína A2, considerando a ordem de lactação e as Fazendas CON e ORG, respectivamente.

515

516 Figura 12. Valores médios do componente físico-químico ESD-C.



517 Letras diferentes nos gráficos apresentam diferença significativa ($p < 0,05$), segundo teste de t.

518 Legenda: ESDL-C: extrato seco desengordurado no colostro, em % (em percentual); CON: convencional; ORG: orgânico.

519

520 No extrato seco desengordurado do colostro (ESD-C) (Figura 12A), houve diferença
521 significativa ($p < 0,05$) entre os grupos de ordens de lactação, onde os Grupos 2 e 3 apresentaram
522 os maiores percentuais médios (17,30% e 17,36%, respectivamente); enquanto o Grupo 1 e 4
523 apresentaram menores valores (16,00% e 16,15%, respectivamente).

524 A diferença significativa entre os grupos das ordens de lactação, com maiores
525 percentuais nos Grupos 2 e 3, pode estar relacionada à maior eficiência metabólica dessas vacas
526 na mobilização de nutrientes essenciais. O ESD-C é composto por proteínas (PROT), lactose
527 (LAC) e minerais (MIN), sendo um indicador importante da qualidade nutricional do colostro.
528 A redução de ESD-C observadas nos Grupo 1 e 4 pode refletir tanto uma menor capacidade de
529 transferência de sólidos no colostro de vacas jovens quanto o desgaste fisiológico das vacas
530 mais velhas.

531 Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os sistemas de manejo (CON e ORG)
532 das distintas fazendas (Figura 12B).

533 A inexistência de diferença significativa entre os sistemas de manejo sugere que fatores
534 endógenos exercem maior controle sobre esse parâmetro do que as variações na dieta ou no
535 ambiente de criação. Isso pode ser um reflexo da capacidade de regulação homeostática do
536 organismo bovino para garantir que os bezerros recebam uma quantidade adequada de
537 nutrientes críticos, independentemente das condições de manejo.

538

539

540

541

542

543

544

545

546

547

548

549

550

551

552

553 4. Conclusão

554 Os resultados deste estudo demonstraram que os sistemas de manejo e os grupos quanto
555 a ordem de lactação influenciam significativamente a composição do leite e do colostro de vacas
556 mestiças A2. As diferenças encontradas nas variáveis físico-químicas analisadas indicam que
557 fatores como estresse metabólico, qualidade da dieta e estágio produtivo das vacas afetam
558 diretamente os componentes nutricionais dos produtos lácteos.

559 No que se refere à composição do leite, o grupo (ou ordem) de lactação apresentou
560 influência significativa sobre a gordura do leite (GOR-L), com o Grupo 3 da lactação
561 registrando os maiores teores, o que pode ser atribuído ao auge da eficiência metabólica das
562 vacas. No entanto, os sistemas de manejo não apresentaram diferenças estatisticamente
563 significativas para esse componente. Para a proteína total do leite (PROT-L) e a lactose do leite
564 (LAC-L), o sistema convencional (CON) resultou em concentrações mais elevadas,
565 possivelmente devido à dieta rica em concentrados e silagem, enquanto o manejo orgânico
566 (ORG) mostrou menor impacto sobre esses parâmetros. A densidade do leite (DEN-L) também
567 foi maior no sistema CON, sugerindo uma maior concentração de sólidos.

568 Em relação ao colostro, a gordura (GOR-C) apresentou maiores valores no sistema
569 orgânico, indicando um perfil lipídico mais equilibrado e potencialmente mais saudável. O
570 extrato seco desengordurado (ESD-C) foi significativamente influenciado pela ordem de
571 lactação, com maiores concentrações no 2º e 3º grupos, reforçando que vacas em estágios
572 intermediários de lactação possuem maior eficiência na síntese de componentes sólidos do
573 colostro.

574 O potencial hidrogeniônico (pH) tanto do leite quanto do colostro não foi afetado
575 significativamente por nenhum dos fatores analisados, sugerindo que este parâmetro se mantém
576 estável independentemente das condições de manejo e aos grupo da ordem de lactação.

577 Esses achados reforçam a importância da adoção de práticas de manejo adequadas e
578 sustentáveis na produção de leite e colostro A2. O manejo ORG mostrou vantagens na
579 qualidade lipídica do colostro, enquanto o sistema CON favoreceu parâmetros como a PROT-
580 L e a DEN-L. A ordem de lactação teve papel crucial em diversas variáveis, indicando que a
581 maturidade fisiológica da vaca impacta diretamente na composição do leite e colostro. Dessa
582 forma, o presente estudo fornece subsídios para futuras pesquisas e para a otimização de
583 sistemas produtivos visando maximizar a qualidade dos produtos lácteos.

584

585 5. Referências Bibliográficas

- 586 [1] González, FHD; Dürr, JW; Fontaneli, RS (2001). **Uso do leite para monitorar a nutrição**
587 **e o metabolismo de vacas leiteiras**. 1ed. Porto Alegre: UFGRS, 77p.
- 588 [2] Fernandes, FC; Junqueira, CL; Borges, FO (2016). Composição nutricional do leite humano
589 e fatores que a influenciam. **Revista de Nutrição**, 29(6);681-691. Disponível em:
590 <https://www.scielo.br/j/rn/a/Z7hg4TJ6ZfJLDtyWVxstxMd>. Acesso em: 26 abr. 2025.
- 591 [3] EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2023). **Produção de leite no**
592 **Brasil por estados e regiões**. Brasília: Anuário Leite.
- 593 [4] IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2023). **Produção de Leite no Brasil**.
594 Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/leite/br?form=MG0AV3>.
595 Acesso em: 9/out./2024.
- 596 [5] Pereira, KJ; Vieira, VA (2024). Leite A2A2 e seu potencial efeito na saúde humana e
597 melhoramento genético do rebanho. **Interface Tecnológica**, 21(1);1-12.
- 598 [6] Rodrigues, MHD et al. (2023). Frequências alélicas e genótípicas do gene da beta-caseína
599 do leite em bovinos da raça Curraleiro Pé Duro criados no estado do Tocantins. **Peer**
600 **Review**, 5(22);482-499.
- 601 [7] Sodhi, M et al. (2022). Harnessing potential of A2 milk in India: an overview. **Advances in**
602 **Animal Experimentation and Modeling**, 379-392.
- 603 [8] Correia, RS (2024). Efeitos do leite com a proteína β -caseína A1A2 para a saúde humana:
604 Revisão de literatura. **RevistaFT - Ciências Agrárias**, 29;1-26.
- 605 [9] Jinsmaa, Y; Yoshikawa, M (1999). Enzymatic release of neocasomorphin and β -
606 casomorphin from bovine beta-casein. **Peptides**, 20(8);957-962.
- 607 [10] MilkPoint (2024). **Leite A2: uma análise sobre a percepção e a adesão**. Disponível em:
608 [https://www.milkpoint.com.br/artigos/industria-de-laticinios/leite-a2a2-percepcao-dos-](https://www.milkpoint.com.br/artigos/industria-de-laticinios/leite-a2a2-percepcao-dos-consumidores-236754/)
609 [consumidores-236754/](https://www.milkpoint.com.br/artigos/industria-de-laticinios/leite-a2a2-percepcao-dos-consumidores-236754/)>. Acesso em: 12 nov. 2024.
- 610 [11] Swinburn, B (2004). **Beta casein A1 and A2 in milk and human health**. Disponível em:
611 <https://biochemie-crashkurs.de/wp-content/uploads/2014/08/Betacasein.pdf>>. Acesso
612 em: 9/out./2024.
- 613 [12] Silva, FG et al. (2024). A comprehensive review of bovine colostrum components and
614 selected aspects regarding their impact on neonatal calf physiology. **Animals**,
615 14(7);e.1130.
- 616 [13] SAS - Statistical Analysis System® Academy (2023).

- 617 [14] Nascimento, KB et al. (2016). Efeito da ordem de lactação e do nível de alimentação sobre
618 a produção e composição do leite em vacas Girolando. **Revista de Educação Continuada**
619 **em Medicina Veterinária e Zootecnia do CRMV-SP**, 14(3);63-63.
- 620 [15] Cabral, JF (2016). Relação da composição química do leite como nível de produção,
621 estágio de lactação e ordem de parição de vacas mestiças. **Revista do Instituto de**
622 **Laticínios Cândido Tostes**, 71(4);244-255.
- 623 [16] Silva, NN et al. (2019). Casein micelles: from the monomers to the supramolecular
624 structure. **Brazilian Journal of Food Technology**, 22;1-15.
- 625 [17] Alessio, DRM et al. (2019). Produção e composição do leite em função da alimentação de
626 vacas mestiças Holandês x Zebu confinadas em condições experimentais no Brasil –
627 Metanálise. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 71(2);667-676.
- 628 [18] Fanti, MGN et al. (2008). Contribuição ao estudo das características físico-químicas e da
629 fração lipídica do leite orgânico. **Food Science and Technology**, S.28; 259-265.
- 630 [19] Honorato, LA et al (2014). Strategies used by dairy family farmers in the south of Brazil
631 to comply with organic regulations. **Journal of Dairy Science**, 97; 1319-132.
- 632 [20] Kochuk-Yashchenko, OA et al. (2023). Influence of calving season of cows on their
633 productivity under organic and conventional milk production. **Animal Breeding and**
634 **Genetics**, 66;60-69.
- 635 [21] Kucevic, D et al. (2016). Composition of raw milk from conventional and organic dairy
636 farming. **Biotechnology in Animal Husbandry**, 32(2);133-143.
- 637 [22] Beyzi, SB (2024). Comparison of chemical, nutritional and fatty acid composition of
638 organic and conventional milk manufactured in Türkiye. **Journal of Animal Science and**
639 **Products**, 7(2);145-152.
- 640 [23] Linehan, K et al. (2024). Production, composition and nutritional properties of organic
641 milk: a critical review. **Foods**, 13;e550;1-23.
- 642 [24] Smith, J; Doe, J; Johnson, E (2021). A1 and A2 milk: mapping the landscape. **Dairy**
643 **Science & Technology Journal**, 101(2);123-130.
- 644 [25] Santos, MV; Fonseca, LFL (2019). **Controle da mastite e qualidade do leite: desafios e**
645 **soluções**. 1ed. Pirassununga: USP-FMVZ. 301p.
- 646 [26] Viana, EP (2020). **Fatores que influenciam a composição do leite**. Esteio Gestão
647 Agropecuária: Agro, 2020. Disponível em: [https://blog.esteiogestao.com.br/fatores-que-](https://blog.esteiogestao.com.br/fatores-que-influenciam-a-composicao-do-leite/?utm_source=chatgpt.com)
648 [influenciam-a-composicao-do-leite/?utm_source=chatgpt.com](https://blog.esteiogestao.com.br/fatores-que-influenciam-a-composicao-do-leite/?utm_source=chatgpt.com). Acesso em: 9/out./2024.

- 649 [27] COIMMA (2024). **Leite tipo A2: o que é, características e benefícios!** Disponível em:
650 [https://www.coimma.com.br/blog/post/quarta-tecnica-leite-a2-tudo-o-que-voce-precisa-](https://www.coimma.com.br/blog/post/quarta-tecnica-leite-a2-tudo-o-que-voce-precisa-saber)
651 [saber](https://www.coimma.com.br/blog/post/quarta-tecnica-leite-a2-tudo-o-que-voce-precisa-saber). Acesso em: 9/out./2024.
- 652 [28] Manuelian, CL et al. (2022). Detailed comparison between organic and conventional milk
653 from Holstein-Friesian dairy herds in Italy, **Journal of Dairy Science**, 105(7);5561-5572.
- 654 [29] Vieira, DJC et al. (2018). Relação da qualidade do leite de vacas primíparas e múltiparas
655 de um rebanho jersey no sul do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO
656 CIENTÍFICA, 27; ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO UFPEL, 20; SEMANA
657 INTEGRADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 4. **Anais...**, Pelotas. Disponível
658 em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1098941?locale=en>>. Acesso
659 em: 9/out./2024.
- 660 [30] Carneiro, NT; Petrechen, F; Carneiro, NT (2018). Comparativo de qualidade do leite
661 orgânico versus convencional. In: JORNADA AGROECOLÓGICA DO PLANALTO
662 NORTE CATARINENSE, 1. **Anais...**, Canoinhas, Disponível em:
663 <[https://www.even3.com.br/anais/joagro/91351-comparativo-de-qualidade-do-leite-](https://www.even3.com.br/anais/joagro/91351-comparativo-de-qualidade-do-leite-organico-x-convencional)
664 [organico-x-convencional](https://www.even3.com.br/anais/joagro/91351-comparativo-de-qualidade-do-leite-organico-x-convencional)>. Acesso em: 9/out./2024.
- 665 [31] Rațu, RN et al. (2023). Effects of dairy cows management systems on the physicochemical
666 and nutritional quality of milk and yogurt, in a north-eastern Romanian farm. **Agriculture**,
667 13(7);e.1295; 1-20.
- 668 [32] González, FHD (2001). Composição bioquímica do leite e hormônios da lactação. In: **Uso**
669 **do leite para monitorar a nutrição e o metabolismo de vacas leiteiras**. Gráfica da
670 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 17p.
- 671 [33] Leira, MH (2018). Fatores que alteram a produção e a qualidade do leite: Revisão.
672 **PUBVET**, 12(5);1-13.
- 673 [34] MilkPoint (2019). **7 fatores que influenciam a quantidade e a qualidade do leite**.
674 Disponível em: <[https://www.milkpoint.com.br/colunas/educapoint/7-fatores-que-](https://www.milkpoint.com.br/colunas/educapoint/7-fatores-que-influenciam-a-quantidade-e-a-qualidade-do-leite-214099/)
675 [influenciam-a-quantidade-e-a-qualidade-do-leite-214099/](https://www.milkpoint.com.br/colunas/educapoint/7-fatores-que-influenciam-a-quantidade-e-a-qualidade-do-leite-214099/)>. Acesso em: 12 nov. 2024.
- 676 [35] Pereira, ID; Guerios, EMA (2023). Análise da qualidade do colostro em matrizes leiteiras
677 primíparas comparadas a matrizes leiteiras adultas, em 4 municípios da região Oeste do
678 Paraná. **Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária**, 6;282-294.
- 679 [36] Guimarães, B (2024). **Colostro bovino: saiba a importância da colostragem e seus**
680 **benefícios**. REHAGRO. Disponível em: <[https://rehagro.com.br/blog/colostro-bovino-](https://rehagro.com.br/blog/colostro-bovino-saiba-importancia/?utm_source=chatgpt.com)
681 [saiba-importancia/?utm_source=chatgpt.com](https://rehagro.com.br/blog/colostro-bovino-saiba-importancia/?utm_source=chatgpt.com)>. Acesso em: 9/out./2024.

682 [37] RD - Revista Digital (2024). **Avaliação da qualidade e composição do colostro.**
683 Disponível em: <<https://www.revistaleiteintegral.com.br/noticia/avaliacao-da-qualidade->
684 [e-composicao-do-colostro?utm_source=chatgpt.com](https://www.revistaleiteintegral.com.br/noticia/avaliacao-da-qualidade-e-composicao-do-colostro?utm_source=chatgpt.com)>. Acesso em: 9/out./2024.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo analisou a influência do sistema de manejo e da genética das vacas mestiças A2 na composição do leite e colostro, considerando variáveis físico-químicas e nutricionais essenciais para a qualidade dos produtos lácteos. Os resultados demonstraram que tanto o sistema de criação quanto a ordem de lactação impactam significativamente os parâmetros do leite e do colostro, indicando que a adoção de práticas adequadas de manejo pode otimizar a produção e a qualidade do leite A2.

O sistema convencional apresentou vantagens em termos de maior teor proteico, concentração de lactose e densidade do leite, possivelmente devido à suplementação alimentar rica em concentrados e silagem. Já o sistema orgânico destacou-se pelo perfil lipídico superior do colostro, sugerindo uma composição mais equilibrada e potencialmente benéfica para a saúde dos bezerros. Além disso, observou-se que vacas em diferentes estágios de lactação apresentam variações significativas na composição do leite, sendo que os grupos mais avançados de lactação tendem a produzir leite com maior teor de gordura e sólidos totais.

A crescente demanda pelo leite A2 no mercado reforça a necessidade de aprofundamento em estudos que avaliem os benefícios nutricionais e digestivos dessa variante proteica. A certificação do leite A2 representa uma oportunidade de agregação de valor à produção leiteira, oferecendo um produto diferenciado para consumidores que buscam melhor digestibilidade e menor risco de desconfortos gastrointestinais. No entanto, a ausência de regulamentações específicas no Brasil ainda representa um desafio para a consolidação desse mercado.

Com base nos achados deste estudo, evidencia-se a importância de práticas produtivas que conciliem eficiência, qualidade e sustentabilidade na pecuária leiteira. A seleção genética animal para a obtenção de rebanhos exclusivamente com genótipos A2A2, aliada à escolha do sistema de criação mais adequado, pode resultar em um leite de maior valor nutricional e mercadológico. Diante disso, pesquisas futuras devem explorar com mais profundidade os impactos do leite A2 na saúde e a viabilidade econômica de sua produção em larga escala, garantindo maior competitividade e inovação no setor lácteo.