REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

COMPOSIÇÃO MINERAL DE LEITE BOVINO SUBMETIDO A DIFERENTES PROCESSAMENTOS TÉRMICOS: ANÁLISE COMPARATIVA DE CÁLCIO, FÓSFORO E FERRO NA REGIÃO DO CERRADO DO ALTO PARANAÍBA, MINAS GERAIS

MINERAL COMPOSITION OF BOVINE MILK SUBMITTED TO DIFFERENT THERMAL PROCESSING: COMPARATIVE ANALYSIS OF CALCIUM, PHOSPHORUS AND IRON IN THE CERRADO REGION OF ALTO PARANAÍBA, MINAS GERAIS

COMPOSICIÓN MINERAL DE LECHE BOVINA SOMETIDA A DIFERENTES PROCESAMIENTOS TÉRMICOS: ANÁLISIS COMPARATIVO DE CALCIO, FÓSFORO Y HIERRO EN LA REGIÓN DEL CERRADO DEL ALTO PARANAÍBA, MINAS GERAIS

Aloma Ayara Crispim Alves
Biomédica, Centro Universitário de Minas Gerais - UniMG, Brasil
E-mail: alomacpalves@gmail.com

Yasmin Crispim Braga
Biomédica, Centro Universitário de Minas Gerais - UniMG, Brasil
E-mail: yasmincrispim638@gmail.com

Hugo Christiano Soares Melo
Doutor em Genética e Bioquímica, Centro Universitário de Minas Gerais - UniMG, Brasil
E-mail: hugo.some@gmail.com

Resumo

O leite bovino desempenha papel fundamental na nutrição humana como fonte essencial de micronutrientes. Este trabalho investigou o impacto do processamento térmico industrial (pasteurização e UHT nas formas integral, semidesnatado, desnatado e zero lactose) sobre o perfil mineral (cálcio, fósforo e ferro) de amostras de leite bovino produzidas no Cerrado do Alto Paranaíba (MG). As concentrações minerais foram quantificadas por espectrofotometria colorimétrica e os dados foram submetidos à ANOVA de um fator seguida pelo teste de comparações múltiplas de Dunnett (controle: leite cru in natura). Os resultados demonstraram estabilidade dos teores de cálcio nas modalidades UHT, menor concentração de ferro detectável pelo procedimento colorimétrico empregado em todos os tipos de leite processado em relação ao leite cru ($R^2 = 0,88$; $p < 0,0001$), cujas causas não puderam ser estabelecidas no presente delineamento, e uma elevação expressiva no fósforo total nos leites pasteurizado e UHT zero lactose, associada ao uso de sais de fosfato como aditivos estabilizantes industriais. Conclui-se que o processamento térmico é compatível com integridade mineral global do leite, mas altera a concentração de ferro detectável, reforçando a importância do monitoramento espectrofotométrico para a validação da qualidade nutricional do produto comercializado.
Palavras-chave: leite bovino; minerais; processamento térmico; espectrofotometria; quantificação mineral.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

Abstract

Bovine milk plays a fundamental role in human nutrition as an essential source of micronutrients. This work investigated the impact of industrial thermal processing (pasteurization and UHT in whole, semi-skimmed, skimmed and lactose-free forms) on the mineral profile (calcium, phosphorus and iron) of bovine milk samples produced in the Cerrado of Alto Paranaíba (MG). Mineral concentrations were quantified by colorimetric spectrophotometry and the data were submitted to one-factor ANOVA followed by Dunnett's multiple comparison test (control: raw milk in natura). The results showed stability of calcium contents in UHT modalities, lower concentrations of iron detectable by the colorimetric procedure employed in all processed milk types compared with raw milk ($R^2 = 0.88$; $p < 0.0001$), the causes of which could not be established in the present design, and a significant increase in total phosphorus in pasteurized and UHT zero-lactose milk, associated with the use of phosphate salts as industrial stabilizing additives. It is concluded that thermal processing is compatible with the global mineral integrity of milk, but alters the concentration of detectable soluble iron, reinforcing the importance of spectrophotometric monitoring for the validation of the nutritional quality of the commercialized product.
Keywords: bovine milk; Minerals; thermal processing; spectrophotometry; mineral quantification.

Resumen

La leche bovina desempeña un papel fundamental en la nutrición humana como fuente esencial de micronutrientes. Este trabajo investigó el impacto del procesamiento térmico industrial (pasteurización y UHT en formas integrales, semidesnatadas, desnatadas y sin lactosa) sobre el perfil mineral (calcio, fósforo y hierro) de muestras de leche bovina producidas en el Cerrado de Alto Paranaíba (MG). Las concentraciones minerales se cuantificaron mediante espectrofotometría colorimétrica y los datos se enviaron a ANOVA de un factor seguido de la prueba de comparación múltiple de Dunnett (control: leche cruda in natura). Los resultados mostraron estabilidad del contenido de calcio en modalidades UHT, menores concentraciones de hierro detectable mediante el procedimiento colorimétrico empleado en todos los tipos de leche procesada en comparación con la leche cruda ($R^2 = 0,88$; $p < 0,0001$), cuyas causas no pudieron establecerse en el presente diseño, y un aumento significativo del fósforo total en leche pasteurizada y UHT cero lactosa, asociada al uso de sales fosfato como aditivos estabilizadores industriales. Se concluye que el procesamiento térmico es compatible con la integridad mineral global de la leche, pero altera la concentración de hierro soluble detectable, reforzando la importancia de la monitorización espectrofotométrica para la validación de la calidad nutricional del producto comercializado.
Palabras clave: leche bovina; Minerales; procesamiento térmico; espectrofotometría; cuantificación de minerales

1. Introdução

O leite bovino ocupa uma posição importante na base alimentar de diversas populações globais, atuando como um fornecedor primário de macro e micronutrientes indispensáveis ao desenvolvimento humano. A inclusão contínua desse alimento na dieta diária sustenta processos fisiológicos vitais desde a infância até a senescência, garantindo o aporte de componentes estruturais e reguladores do metabolismo (Akyl *et al*., 2025; Marques *et al*., 2024).

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

No contexto da saúde pública global, a literatura documenta que a matriz láctea atua como uma ferramenta estratégica na diminuição da insegurança alimentar, fornecendo uma base nutricional segura e acessível para populações em diferentes cenários socioeconômicos (Dias *et al*., 2024). Estudos recentes de impacto nutricional evidenciam que a inclusão contínua desse alimento na dieta reduz de modo significativo os índices de desnutrição, pois o leite fornece um conjunto de alta densidade nutricional que dificilmente é suprido de forma integral por outras fontes alimentares isoladas (Smith *et al*., 2022).

A estrutura físico-química do leite engloba uma emulsão complexa de lipídios, proteínas de alto valor biológico, carboidratos e um perfil extenso de vitaminas e minerais. Essa matriz não apenas fornece energia imediata para o metabolismo e as funções do corpo, compreendendo o trabalho cardiovascular, a dinâmica respiratória autônoma, a filtração renal e a manutenção contínua da atividade neurológica, mas também fornece componentes estruturais essenciais para a regeneração celular e a síntese de tecidos (Bréjon *et al*., 2024).

O leite bovino destaca-se pela ampla oferta de nutrientes essenciais. Apesar dessa riqueza natural, quando o processamento industrial reduz parcial ou totalmente certos micronutrientes, a indústria recorre a fortificações sintéticas que nem sempre atingem a mesma eficiência metabólica e a mesma estabilidade no organismo humano (Pieterse *et al*., 2025).

Dentro do amplo espectro de micronutrientes, a fração mineral do leite desempenha papel fundamental na regulação metabólica e na sinalização celular. O cálcio e o fósforo são os minerais predominantes na composição láctea e atuam diretamente na mineralização do esqueleto, na contração muscular e na manutenção da homeostase óssea. A ingestão adequada de diferentes tipos de leite contribui de forma decisiva para atingir as recomendações diárias de cálcio, prevenindo a desmineralização precoce e o surgimento de patologias ósseas crônicas (Câmara *et al*., 2019; Holven *et al*., 2024).

Paralelamente, embora o leite bovino in natura não seja a fonte mais abundante de ferro da dieta, a presença desse oligoelemento e sua interação com outras proteínas carreadoras são fundamentais para o equilíbrio do organismo. O

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

ferro participa ativamente do transporte de oxigênio e da respiração celular ao longo de todo o ciclo de vida, operando em conjunto com outros macrominerais para garantir a integridade das funções cognitivas e imunológicas, bem como o desenvolvimento neurológico adequado (Farag *et al*., 2023; Givens, 2020).

Para que esses nutrientes cheguem de forma segura à mesa do consumidor, o leite passa por rigorosos controles de qualidade e processos térmicos industriais que visam à eliminação de patógenos, sem causar a degradação severa de seu valor biológico (Sanches, 2023; Smith *et al*., 2022). O leite cru, recém-ordenhado, possui uma microbiota natural inerente ao ambiente de produção, que apresenta riscos sanitários diretos, exigindo intervenções tecnológicas imediatas. A pasteurização atua no controle microbiológico primário, preservando a maior parte das características sensoriais e da estrutura nutricional da bebida. Por outro lado, o processamento UHT (Ultra High Temperature) garante a esterilidade comercial e a viabilidade do produto em temperatura ambiente por longos períodos, facilitando a logística e o armazenamento. A escolha do método de processamento térmico influencia a estabilidade das proteínas do soro e a estrutura das micelas de caseína, mas mantém a matriz mineral praticamente intacta, assegurando que o leite e seus derivados continuem sendo veículos seguros e altamente eficazes de nutrição humana (Lopes *et al*., 2023; Smith *et al*., 2022).

A eficiência com que o organismo humano absorve e utiliza os minerais lácteos não depende apenas da quantidade bruta ingerida, mas da alta biodisponibilidade garantida pela matriz do alimento. O leite bovino possui compostos bioativos específicos, como peptídeos derivados da caseína, que quelam minerais no trato gastrointestinal, impedindo sua precipitação e facilitando ativamente a absorção através da mucosa intestinal (Lin *et al*., 2021).

Além disso, estruturas nanométricas naturalmente presentes no leite desempenham um papel dinâmico na proteção e no transporte de compostos funcionais através das barreiras celulares, otimizando a resposta metabólica e imunológica do hospedeiro (Jablonska *et al*., 2024). Essa dinâmica de interação biológica também abre espaço para inovações tecnológicas na indústria de alimentos. Estratégias de fortificação direcionadas, como a elaboração de leites

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

saborizados enriquecidos com ferro heme proveniente de hidrolisados bovinos, demonstram que a matriz láctea é um veículo excelente para aumentar a absorção de minerais que normalmente apresentam baixa biodisponibilidade em dietas convencionais, criando produtos com apelo terapêutico (Arias *et al*., 2018).

A qualidade e a composição exata do leite não são estáticas; elas respondem de maneira direta e contínua aos estímulos ambientais e ao manejo zootécnico aplicado nas propriedades rurais. A sazonalidade, as variações de temperatura ao longo do ano e os grupos genéticos do rebanho exercem influência direta sobre os atributos físico-químicos, o rendimento e a acidez do leite cru (Guimarães, 2025). No contexto específico do Cerrado do Alto Paranaíba (Minas Gerais), as condições edafoclimáticas singulares, caracterizadas por estações secas e chuvosas bem definidas e solos com perfis minerais altamente específicos, modulam o crescimento e a qualidade nutricional das pastagens. A cadeia solo-planta-animal-leite funciona como um contínuo biológico ininterrupto, em que a fertilidade e a correção da terra ditam o valor nutricional da forragem consumida pelo gado. O regime alimentar imposto aos animais afeta o perfil metabolômico do soro do leite e do leite integral, alterando a concentração de metabólitos e a densidade de minerais que serão posteriormente transferidos para a dieta humana (Connolly *et al*., 2024).

Portanto, as características geográficas e o rigor do manejo nutricional adotado nas bacias leiteiras do Cerrado determinam a composição mineral final do produto comercializado. A garantia da oferta de um leite com alta densidade mineral é uma questão central de saúde pública, especialmente diante do cenário global crônico de carências nutricionais. Deficiências de micronutrientes, particularmente de ferro e cálcio, continuam sendo um desafio prevalente que afeta o desenvolvimento cognitivo, o crescimento ósseo e a capacidade física de populações vulneráveis em diversas regiões (Kiani *et al*., 2022).

Instituições de referência em saúde e nutrição reforçam que a ingestão regular de leite de vaca é uma estratégia baseada em evidências para suprir essas lacunas alimentares. Diversos estudos apontam de forma clara que a exclusão não justificada de lácteos da dieta pode comprometer o alcance das metas de ingestão

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

diária de cálcio e de outros minerais críticos para o metabolismo (ABRAN, 2023; SBAN, 2023). A matriz láctea fornece esses nutrientes em um formato altamente assimilável e fisiologicamente compatível, sendo uma ferramenta indispensável para a manutenção do estado nutricional adequado e para a promoção da longevidade com qualidade de vida em todas as fases do desenvolvimento humano (Harvard, 2024).

Considerando a rede de fatores que determinam a qualidade do leite, desde as características químicas do solo até o processamento industrial e a absorção humana, torna-se indispensável avaliar como essas variáveis se comportam de maneira integrada em cenários produtivos reais. A região do Cerrado do Alto Paranaíba (Minas Gerais) é reconhecida como uma das bacias leiteiras de alta relevância econômica e produtiva (Zhang *et al*., 2021).

Diante desse contexto, o presente trabalho consiste em um experimento desenhado para quantificar e analisar o perfil de cálcio, fósforo e ferro no leite produzido nessa localidade, levando em conta os fatores edafoclimáticos e as diferenças entre os tipos de leite analisados nos tipos de leite analisados. A análise comparativa da composição mineral do leite bovino sob diferentes processamentos e variáveis produtivas fornecerá dados concretos para a avaliação da qualidade nutricional do leite que chega à mesa do consumidor final.

2. Metodologia

2.1 Amostras

As amostras analisadas consistiram em leite bovino UHT (integral, semidesnatado, desnatado e zero lactose) da marca Cemil, leite bovino pasteurizado integral da marca Coopatos e leite bovino cru proveniente de propriedades produtoras do Alto Paranaíba, Minas Gerais, totalizando seis modalidades. Para cada modalidade, foram planejados quatro lotes independentes [definir: lotes de fabricação distintos, identificados pelo código da embalagem e adquiridos em datas distintas; para o leite cru, coletas em (propriedades/dias)

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

distintos], perfazendo 24 lotes por mineral. Cada lote foi analisado em quadruplicata técnica, e a média das quatro determinações foi adotada como valor representativo do lote. Os padrões também foram analisados em quadruplicata. Em razão de absorbâncias com coeficiente de variação entre réplicas acima de 30%, o número de lotes incluídos variou entre modalidades e minerais (Tabela 1), totalizando 21 lotes para ferro, 19 para fósforo e 21 para cálcio. As implicações dessa estrutura amostral são discutidas na seção 4.

2.2 Procedimentos analíticos

2.2.1 Equipamentos e materiais

As análises foram conduzidas em espectrofotômetro da marca BEL e banho-maria Delta®, modelo 105DC, com o auxílio de micropipetas automáticas, ponteiras descartáveis, tubos de ensaio, frascos de Erlenmeyer e grade (rack) para tubos de ensaio.

2.2.2 Reagentes

Os reagentes empregados consistiram em kits comerciais da ELITech Group Clinical Systems:

Fósforo: kit Phosphorus, referência PHOS-0600, lote 18-0068, composto por dois frascos de reagente de 125 mL e um frasco de padrão de 5 mL.

Cálcio: kit Calcium Arsenazo, referências CALA-0600/CALA-5600, lote 18-0003, composto por dois frascos de reagente de 125 mL e um frasco de padrão de 5 mL (10 mg/dL).

Ferro: kit Iron Chromazurol, referência FECA-0600, lote 19-0426, composto

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

por dois frascos de reagente de 125 mL e um frasco de padrão de 5 mL (100 µg/dL).

2.2.3 Determinação colorimétrica

A determinação dos minerais ferro, fósforo e cálcio foi realizada por método colorimétrico, seguindo rigorosamente as especificações do fabricante. As leituras espectrofotométricas foram obtidas nos seguintes comprimentos de onda: 340 nm para fósforo, 637 nm para ferro e 680 nm para cálcio.

2.2.4 Cálculo da concentração

A concentração dos minerais foi calculada utilizando a seguinte relação formal:

$$\text{Concentração do mineral} = [(A_1 + A_2 + A_3 + A_4) / 4] / [(P_1 + P_2 + P_3 + P_4) / 4] \times C_p$$

em que A_1–A_4 representam as absorbâncias da amostra em quadruplicata (utilizou-se a média das quatro absorbâncias); P_1–P_4 representam as absorbâncias do padrão em quadruplicata (utilizou-se a média das quatro absorbâncias); e C_p é a concentração do padrão (10 mg/dL para cálcio, 5 mg/dL para fósforo e 100 µg/dL para ferro).

2.3 Análise Estatística

Os dados foram processados no software GraphPad Prism (versão 10.4.1, GraphPad Software, EUA). Para cada mineral, foi aplicada uma análise de variância (ANOVA) de um fator para comparar as seis modalidades de leite. A homogeneidade das variâncias foi verificada pelos testes de Brown-Forsythe e Bartlett. Identificada diferença significativa na ANOVA, aplicou-se o teste *post hoc* de Dunnett para comparações múltiplas, tendo o leite cru como grupo controle. O nível de significância adotado foi $p < 0,05$.

A unidade experimental considerada foi o lote, sendo a média das quadruplicatas técnicas utilizada como observação única, de modo a evitar pseudorreplicação. Como o número de lotes diferiu entre os grupos, as análises

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

foram conduzidas em delineamento desbalanceado, e os graus de liberdade residuais (15 para ferro e cálcio; 13 para fósforo) correspondem ao número de lotes incluídos menos o número de grupos. Os critérios de exclusão de dados foram apenas de absorbâncias com coeficiente de variação entre réplicas acima de 30%.

2.4 Declaração de uso de inteligência artificial

Durante a preparação deste trabalho, os autores utilizaram a ferramenta Qwen (Alibaba, versão Qwen3.8max) para revisão gramatical e ortográfica do texto em português e para conferência das citações e referências. Após o uso da ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo, assumindo plena responsabilidade pelo material publicado. A ferramenta Elicit (Elicit Research, PBC) foi utilizada para busca e análise de referências específicas. Permanecem sob inteira responsabilidade dos autores a análise crítica, a interpretação dos resultados, a conferência das informações e a redação final do conteúdo apresentado, observando os princípios da ética, transparência e integridade acadêmica, conforme preconizado pelo International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE) em suas recomendações para condução, relato, edição e publicação de trabalhos científicos em periódicos médicos (ICMJE, 2024; CNPq 2.664, 2026).

3. Resultados e Discussão

Tabela 1 – Resumo dos Teores Minerais por Tipo de Leite (Média ± DP).

Tipo de Leite	Fósforo (mg/dL)	Ferro (µg/dL)	Cálcio (mg/dL)
Leite Cru (Controle)	5,54 ± 1,34 (n=4)	27,13 ± 3,41 (n=4)	11,19 ± 3,47 (n=4)
Leite Pasteurizado	31,70 ± 9,51 (n=3) **	6,48 ± 0,96 (n=4) ****	22,83 ± 6,04 (n=3) **
UHT Integral	9,77 ± 4,15 (n=3) ns	10,64 ± 5,35 (n=3) ****	9,65 ± 1,85 (n=4) ns
UHT Semi-Desnatado	15,02 ± 8,24 (n=3) ns	16,35 ± 2,84 (n=3) **	12,20 ± 2,61 (n=4) ns

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

UHT Desnatado	10,56 ± 2,73 (n=3) ns	15,15 ± 1,76 (n=4) ***	11,31 ± 4,59 (n=3) ns
UHT Zero Lactose	22,02 ± 3,22 (n=3) **	12,53 ± 2,79 (n=3) ****	13,24 ± 4,96 (n=3) ns

n = número de lotes independentes incluídos na análise (média das quadruplicatas técnicas por lote); o planejado eram quatro lotes por grupo. Os motivos das exclusões estão descritos na seção 2.1.

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Os teores médios calculados para cada mineral nas seis modalidades de leite analisadas estão resumidos na Tabela 1. A análise de variância revelou variações altamente significativas entre o leite cru (controle) e as formas de processamento industrial.

3.1 Dinâmica do ferro (µg/dL) e interações físico-químicas

O ferro apresentou o maior ajuste ao modelo estatístico entre os três minerais avaliados, com $R^2 = 0,88$ e $F(5,15) = 21,13$ ($p < 0,0001$), indicando que 88% da variabilidade observada nos resultados é explicada pelo tipo de leite, o maior valor de R^2 obtido neste estudo. Em oposição ao padrão verificado para o fósforo, o leite cru exibiu a maior concentração média de ferro (27,13 µg/dL), e todos os cinco tipos de leite processado apresentaram teor significativamente inferior ao do leite cru no teste de Dunnett (todos com $p < 0,01$; a maioria com $p < 0,0001$). Trata-se do resultado mais consistente e estatisticamente mais robusto entre os três minerais estudados: em todas as comparações, os produtos processados apresentaram menor concentração de ferro detectável pelo procedimento empregado do que o leite cru. No leite pasteurizado, o teor médio reduziu para 6,48 µg/dL ($p < 0,0001$). Nas modalidades UHT, os valores variaram entre 10,64 µg/dL (integral), 16,35 µg/dL (semidesnatado), 15,15 µg/dL (desnatado) e 12,53 µg/dL (zero lactose).

A menor concentração de ferro detectável nos produtos processados pode ter origens distintas, que o presente delineamento não permite discriminar. Três

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

cenários devem ser diferenciados: (i) redução da concentração total do elemento na matriz; (ii) redistribuição do ferro entre frações (solúvel, associada às micelas de caseína, ligada a proteínas do soro ou particulada), sem alteração do conteúdo total; e (iii) alteração da recuperação analítica, isto é, da fração do ferro efetivamente acessível à reação colorimétrica, que pode variar conforme a associação do mineral a proteínas e a outros constituintes da matriz. O tratamento térmico promove alterações nas proteínas do leite e nas micelas de caseína, incluindo dissociação de componentes micelares e interação das proteínas do soro desnaturadas com as caseínas (Anema, 2021), o que poderia modificar a distribuição dos minerais entre fases e, hipoteticamente, sua resposta ao método empregado. Complexação, precipitação e adsorção em superfícies de equipamentos (Xia et al., 2023) são mecanismos possíveis, porém não confirmados por este estudo, uma vez que não foram determinados o ferro total após digestão da amostra, as frações da matriz ou a recuperação do método (por exemplo, por ensaios de adição e recuperação).

Tabela 2 – Parâmetros do ajuste estatístico (ANOVA) por mineral.

Mineral	Teste F	Valor de p (ANOVA)	Coeficiente de Determinação (R^2)	Significância Global
Ferro	F(5,15) = 21,13	p < 0,0001	0,88	Altamente Significativo (p < 0,0001)
Fósforo	F(5,13) = 9,82	p = 0,0005	0,79	Altamente Significativo (p < 0,001)
Cálcio	F(5,15) = 4,65	p = 0,0092	0,61	Significativo (p < 0,01)

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Uma segunda possibilidade é que parte do ferro detectado no leite cru derive de contaminação incidental durante a ordenha e o manuseio, por contato com superfícies metálicas, poeira ou partículas em suspensão (Farag et al., 2023;

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

Moreno et al., 2022), e que etapas industriais como filtração, clarificação e centrifugação reduzam essa fração particulada. Essa hipótese, entretanto, não foi investigada experimentalmente: não se determinou o ferro particulado, não se avaliou o efeito dessas etapas em amostras pareadas e não se caracterizaram as condições de ordenha e armazenamento das propriedades. Ademais, a menor concentração em todos os grupos processados é igualmente compatível com diferenças de origem e formulação entre o leite cru e os produtos comerciais (seção 4) e com alterações da resposta analítica após o processamento, de modo que a uniformidade da redução não constitui, por si só, evidência de um mecanismo comum de remoção.

Tabela 3 – Comparação Específica do Teste de Dunnett (Processados vs. Leite Cru).

Tipo de Leite	Fósforo vs. Leite Cru	Ferro vs. Leite Cru	Cálcio vs. Leite Cru
Leite Pasteurizado	Diferença Significativa (p = 0,0001)	Diferença Significativa (p < 0,0001)	Diferença Significativa (p = 0,0064)
UHT Integral	Não Significativo (p > 0,05)	Diferença Significativa (p < 0,0001)	Não Significativo (p > 0,05)
UHT Semi-Desnatado	Não Significativo (p > 0,05)	Diferença Significativa (p = 0,0012)	Não Significativo (p > 0,05)
UHT Desnatado	Não Significativo (p > 0,05)	Diferença Significativa (p = 0,0004)	Não Significativo (p > 0,05)
UHT Zero Lactose	Diferença Significativa (p = 0,0074)	Diferença Significativa (p < 0,0001)	Não Significativo (p > 0,05)

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Os valores absolutos devem ser interpretados com cautela. A faixa reportada na literatura para o ferro no leite bovino é de 30 a 60 µg/dL (Fransson; Lönnerdal, 1983); o leite cru analisado (27,13 µg/dL) situou-se ligeiramente abaixo do limite inferior dessa faixa, e os produtos processados (6,48 a 16,35 µg/dL) situaram-se substancialmente abaixo dela. Esse padrão não corrobora, por si só, a hipótese de contaminação do leite cru e é compatível com subestimação do ferro

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

pelo procedimento colorimétrico, o que reforça a necessidade de validar o método para a matriz láctea e de confirmar os resultados por técnica de referência (espectrometria de absorção atômica ou ICP-MS). Observou-se ainda que o leite pasteurizado, submetido a aquecimento mais brando, apresentou a menor concentração (6,48 µg/dL), inferior à de todas as modalidades UHT, o que não sustenta uma relação simples entre a intensidade do tratamento térmico e a menor concentração de ferro detectável. A biodisponibilidade do ferro não foi avaliada neste estudo, e os resultados não permitem inferências sobre sua absorção ou seu valor nutricional.

3.2 Comportamento do fósforo (mg/dL) e influência dos aditivos estabilizantes

A concentração de fósforo exibiu variação global estatisticamente significativa na ANOVA ($F(5,13) = 9,82$; $p = 0,0005$; $R^2 = 0,79$), indicando que aproximadamente 79% da variabilidade observada nos dados é explicada pelo tipo de leite, e não por ruído experimental. Em contraste com o padrão observado para o ferro, em que o leite cru apresentou a maior concentração, o fósforo no leite cru (5,54 mg/dL) situou-se como o menor valor entre os grupos avaliados. No teste de Dunnett, apenas dois grupos diferiram significativamente do leite cru, ambos com teores superiores: o leite pasteurizado (31,70 mg/dL; $p = 0,0001$) e o UHT zero lactose (22,02 mg/dL; $p = 0,0074$). Os leites UHT integral (9,77 mg/dL), semidesnatado (15,02 mg/dL) e desnatado (10,56 mg/dL) não apresentaram diferenças estatisticamente significativas em relação ao leite cru ($p > 0,05$).

A elevação acentuada nos teores de fósforo nas amostras de leite pasteurizado e UHT zero lactose associa-se, em princípio, à prática da indústria láctea de incorporar sais de fosfato e polifosfatos como agentes estabilizantes. Segundo Lucey, Wilbanks e Horne (2022), o equilíbrio inorgânico e orgânico do fósforo no leite é extremamente sensível; a adição externa de sais de fosfato de sódio evita a gelificação induzida pelo aquecimento e mantém o tamponamento do pH durante o armazenamento prolongado. Em investigação conduzida por Tsioulpas *et al*. (2010), constatou-se que a adição de sais estabilizantes modula a

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

força iônica do meio e previne a degradação e a sedimentação da micela de caseína sob tratamento UHT. Em produtos submetidos a processos tecnológicos adicionais, como os leites hidrolisados (zero lactose), a degradação enzimática da lactose altera o equilíbrio osmótico, exigindo maiores concentrações de sais fosfatados para manter a estabilidade coloidal.

No entanto, o resultado do leite pasteurizado Coopatos (31,70 mg/dL; p = 0,0001) merece discussão adicional, por se tratar do maior valor entre todos os grupos avaliados e por ser o leite pasteurizado, em geral, uma categoria que recebe formulação mais simples e menor quantidade de aditivos em comparação com os produtos UHT. Uma hipótese complementar à adição de estabilizantes é a diferença na composição de base da matéria-prima utilizada pela cooperativa. O leite cru empregado como controle neste estudo provém de propriedades específicas do Alto Paranaíba, enquanto a cooperativa capta leite de um conjunto mais amplo de produtores, possivelmente submetidos a diferentes regimes alimentares, estágios de lactação e condições de manejo que influenciam diretamente o teor de proteína e, por conseguinte, a concentração de fósforo associado à caseína. aproximadamente 70% do fósforo total está na forma coloidal não é a melhor formulação. Uma revisão sobre a matriz alimentar do leite indica que cerca de 50% do fosfato inorgânico está associado às micelas de caseína, enquanto aproximadamente 70% do cálcio total está nessa fase (Lenton *et al.*, 2015). Um lote de matéria-prima com maior teor proteico resultaria, naturalmente, em maior concentração de fósforo total detectável pelo método colorimétrico, independentemente de qualquer adição exógena. Assim, não se pode descartar que parte expressiva da diferença observada entre o leite pasteurizado e o leite cru controle reflita a variabilidade biológica da matéria-prima captada pela cooperativa, e não exclusivamente a incorporação de fosfatos durante o processamento. A confirmação dessa hipótese exigiria a análise do rótulo e da ficha técnica do produto quanto à presença de estabilizantes, bem como a caracterização do teor proteico do leite cru utilizado pela cooperativa, informações que não estavam disponíveis no escopo do presente trabalho.

Em consonância com esses resultados, Pranata *et al*. (2024) avaliaram os

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

efeitos da adição de fosfato dipotássico e do tratamento térmico sobre proteínas e minerais em bebidas à base de proteínas do leite. Os autores observaram que a adição do fosfato promoveu aumento das concentrações de fósforo e cálcio na fase aquosa associada às micelas de caseína, além de favorecer a dissociação de proteínas micelares. Esses achados reforçam a influência dos sais fosfatados sobre o equilíbrio mineral e proteico da matriz láctea e ajudam a explicar a elevação do fósforo observada nas amostras contendo aditivos funcionais (Pranata *et al*., 2024).

É relevante ressaltar que os leites comerciais de formulação mais simples, sem adição de lactase ou de aditivos funcionais, não diferiram estatisticamente do leite cru quanto ao teor de fósforo. Esse resultado sugere que, nas condições avaliadas, o tratamento térmico não promoveu alterações detectáveis na concentração desse mineral. Embora o aquecimento possa modificar o equilíbrio entre as fases solúvel e coloidal do leite, a concentração mineral total pode permanecer relativamente estável após o processamento industrial (Lawan *et al*., 2024). Assim, a variação observada entre os grupos parece estar mais associada à composição de base da matéria-prima e à presença de aditivos do que ao efeito direto do calor.

Nesse sentido, diferenças no teor proteico entre os lotes de leite cru utilizados por cada fabricante podem explicar parte da variabilidade observada, dado que o fósforo no leite se encontra fortemente associado às micelas de caseína na forma de fosfato de cálcio coloidal. Lotes com maior teor de proteína e, consequentemente, maior quantidade de fosfoproteínas tendem a apresentar maior concentração de fósforo total, independentemente do processamento. Adicionalmente, no caso específico do leite zero lactose, a hidrólise enzimática da lactose e as etapas adicionais de processamento podem promover leve concentração dos sólidos do leite, contribuindo para a elevação do teor mineral detectado. A verificação dos rótulos e das fichas técnicas dos produtos utilizados neste estudo, quanto à presença de estabilizantes, corretivos de acidez ou sais fosfatados adicionados, seria um passo importante para confirmar a origem do fósforo excedente nas amostras que diferiram do leite cru.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

3.3 Homeostase do cálcio (mg/dL) e alterações micelares

Os resultados para o cálcio revelaram um valor de F(5,15) = 4,65 (p = 0,0092; R^2 = 0,61) na ANOVA, indicando que aproximadamente 61% da variabilidade observada nos dados é explicada pelo tipo de leite. O leite cru apresentou valor médio de 11,19 mg/dL. O leite pasteurizado apresentou uma média de 22,83 mg/dL, diferindo significativamente do leite cru (p = 0,0064). Em contrapartida, as amostras UHT integral (9,65 mg/dL), semidesnatado (12,20 mg/dL), desnatado (11,31 mg/dL) e zero lactose (13,24 mg/dL) não apresentaram diferenças estatisticamente significativas quando comparadas ao controle (p > 0,05 no teste de Dunnett). Diferentemente do observado para o fósforo e o ferro, em que múltiplas comparações atingiram significância, o resultado para o cálcio foi mais pontual: apenas uma das cinco comparações (leite pasteurizado *vs.* leite cru) foi estatisticamente significativa. Esse padrão sugere que, de modo geral, o cálcio se manteve estável entre os diferentes processos tecnológicos, resultado esperado, considerando que o cálcio é um elemento mineral e, portanto, não é degradado nem volatilizado pelo calor, diferentemente de compostos orgânicos termolábeis.

A manutenção dos níveis equivalentes de cálcio total nas variedades UHT reforça a eficiência das tecnologias de processamento em preservar esse macromineral fundamental. Conforme analisado pela International Dairy Federation (IDF, 2022), o tratamento térmico pode promover alterações no equilíbrio dos sais minerais do leite, especialmente envolvendo o fosfato de cálcio e sua associação com as proteínas. Durante o aquecimento, ocorre alteração da solubilidade e da distribuição do fosfato de cálcio, podendo haver associação desses precipitados às caseínas (Nieuwenhuijse; Huppertz, 2022). Essas alterações são, em determinadas condições de processamento, parcialmente reversíveis durante o resfriamento, embora tratamentos térmicos mais intensos possam produzir alterações menos reversíveis. Dessa forma, a manutenção do cálcio total observada nas amostras UHT é compatível com uma redistribuição do mineral entre as diferentes fases da matriz láctea, sem necessariamente

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

representar redução do conteúdo total do elemento. O resfriamento e a estocagem subsequente das embalagens UHT restabelecem parcialmente o equilíbrio iônico original, garantindo a estabilidade analítica do cálcio no produto comercializável.

Por outro lado, a elevação identificada na amostra de leite pasteurizado Coopatos (22,83 mg/dL; p = 0,0064) merece discussão específica, por representar aproximadamente o dobro da concentração observada no leite cru controle. Essa diferença pode derivar de processos de fortificação opcional na indústria, de flutuações na acidez titulável e no pH da matéria-prima antes do processamento térmico brando (Stroher; Nunes; Santos Júnior, 2021) ou, ainda, de diferenças na composição de base da matéria-prima utilizada. Assim como discutido para o fósforo, o leite cru empregado como controle neste estudo provém de propriedades específicas do Alto Paranaíba, enquanto a cooperativa capta leite de um conjunto mais amplo de produtores, possivelmente submetidos a diferentes regimes alimentares, estágios de lactação e condições de manejo. Considerando que a maior fração do cálcio lácteo se encontra associada às micelas de caseína na forma de fosfato de cálcio coloidal, um lote de matéria-prima com maior teor proteico resultaria, naturalmente, em maior concentração de cálcio total detectável pelo método colorimétrico, independentemente de qualquer adição exógena. Não se pode descartar, portanto, que parte expressiva da diferença observada entre o leite pasteurizado e o leite cru controle reflita a variabilidade biológica da matéria-prima captada pela cooperativa, e não exclusivamente a incorporação de sais de cálcio durante o processamento (Udabage; Mckinnon; Augustin, 2000) sendo que a confirmação dessa hipótese exigiria a análise do rótulo e da ficha técnica do produto quanto à presença de sais de cálcio adicionados, bem como a caracterização do teor proteico do leite cru utilizado pela cooperativa.

No que concerne aos valores absolutos, Kandinskaya, Redkin e Chebakova (2019), ao monitorarem amostras de leite cru, relatam média de 90 a 95 mg/dL de cálcio total, com faixa de variação entre 70 e 110 mg/dL. Os valores obtidos no presente estudo para o leite cru (11,19 mg/dL) e para as demais amostras analisadas situam-se aquém dessa faixa de referência, o que pode refletir características específicas do método colorimétrico empregado, eventuais fatores

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

de diluição aplicados na etapa analítica ou a mensuração de uma fração específica do cálcio, e não do cálcio total da matriz láctea. Essa observação reforça a necessidade de cautela na interpretação dos valores absolutos e na comparação direta com dados de literatura obtidos por metodologias distintas, como a espectrometria de absorção atômica. Não obstante, a análise comparativa entre os grupos dentro do mesmo método permanece válida, uma vez que todas as amostras foram submetidas às mesmas condições analíticas.

Adicionalmente, o comportamento do cálcio durante o processamento térmico está relacionado ao equilíbrio entre os sais minerais presentes na fase sérica e aqueles associados às micelas de caseína. Durante o aquecimento, ocorrem alterações na solubilidade e na precipitação dos fosfatos de cálcio, bem como na associação desses componentes com as caseínas (Nieuwenhuijse; Huppertz, 2022). Esse achado é consistente com a ausência de diferença estatística nos leites UHT, em que a estrutura micelar, embora parcialmente alterada pelo calor, mantém sua capacidade de retenção do fosfato de cálcio coloidal.

O valor de $R^2 = 0,61$ obtido para o cálcio é o mais baixo entre os três minerais avaliados (ferro: $R^2 = 0,88$; fósforo: $R^2 = 0,79$; cálcio: $R^2 = 0,61$), indicando que aproximadamente 39% da variabilidade observada nos dados não é explicada pelo tipo de leite. Essa fração não explicada pode ser atribuída a fatores não controlados no delineamento experimental, como a variação natural entre lotes de matéria-prima, a sazonalidade da produção, as diferenças genéticas e raciais do rebanho e as variações na composição da dieta dos animais ao longo do ano. Diferentemente do ferro, cuja menor concentração detectável nos produtos processados pode estar associada ao processamento, a fatores analíticos ou à origem das amostras (seção 3.1), e do fósforo, em que a adição de estabilizantes cria diferenças marcantes entre produtos, o cálcio parece ser mais influenciado por fatores biológicos e ambientais intrínsecos à produção leiteira do que pelo processamento tecnológico em si. Esse achado reforça a importância de estudos longitudinais que acompanhem a variação sazonal e inter-rebanhos na composição mineral do leite cru, de modo a estabelecer faixas de referência mais precisas para

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

a região do Alto Paranaíba.

4. Limitações do estudo

Este estudo tem uma limitação de delineamento que afeta a leitura dos resultados. O leite cru veio de propriedades do Alto Paranaíba, o pasteurizado é de uma única marca comercial e as quatro modalidades UHT são de outra. Com isso, o tipo de tratamento térmico fica misturado com a origem e a marca do produto, e as diferenças entre os grupos não podem ser atribuídas só ao calor.

Vários fatores podem explicar essas diferenças, juntos ou separados: a matéria-prima, a variação entre produtores e rebanhos (raça, estágio de lactação, dieta, época do ano), a formulação comercial (possível adição de estabilizantes, sais minerais ou lactase), a padronização industrial e as condições e o tempo de armazenamento e distribuição. O método também pesa: o ensaio colorimétrico não foi validado para leite, e proteínas e lipídios podem interferir na leitura.

Como cada categoria de processamento tem uma só marca, o efeito do processamento não se separa do efeito do fabricante, e os resultados não devem ser estendidos a outros produtos. Entre as modalidades UHT o viés é menor, porque o fabricante é o mesmo, mas a variação entre lotes continua. Os dados, portanto, descrevem produtos vendidos na região e não indicam relação causal entre processamento térmico e composição mineral.

Estudos futuros podem dividir um mesmo lote de leite cru entre diferentes tratamentos térmicos ou, no mínimo, incluir várias marcas por categoria. Também devem medir proteína, gordura e extrato seco e validar o método contra uma técnica de referência, como a espectrometria de absorção atômica.

5. Conclusão

O presente estudo confirma a alta relevância biomédica e nutricional do leite bovino como matriz carreadora de minerais essenciais e evidencia que os três minerais avaliados, cálcio, fósforo e ferro, respondem de maneira distinta ao

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

processamento térmico e às variáveis produtivas. A análise comparativa entre o leite cru e as cinco modalidades de leite processado permitiu identificar padrões específicos para cada mineral, com implicações diretas para o controle de qualidade e para a orientação nutricional ao consumidor.

O ferro apresentou o resultado estatisticamente mais robusto entre os três minerais estudados ($R^2 = 0,88$; $p < 0,0001$), com o leite cru exibindo a maior concentração média detectável (27,13 µg/dL) e os cinco tipos de leite processado apresentando concentrações significativamente inferiores. Esses resultados não permitem distinguir entre perda do elemento, redistribuição entre frações da matriz e alteração da recuperação analítica. Complexação térmica, agregação proteica, precipitação, adsorção em superfícies, remoção de material particulado em etapas industriais e diferenças de origem das amostras constituem hipóteses explicativas não confirmadas, cuja investigação requer a determinação do ferro total por técnica de referência, ensaios de adição e recuperação e a análise de amostras pareadas antes e após cada etapa de processamento. A biodisponibilidade do ferro não foi avaliada.

Para o fósforo, o padrão observado foi oposto ao do ferro: o leite cru apresentou a menor concentração (5,54 mg/dL), e apenas o leite pasteurizado (31,70 mg/dL; $p = 0,0001$) e o UHT zero lactose (22,02 mg/dL; $p = 0,0074$) diferiram significativamente do controle, ambos com teores superiores. Os leites UHT integral, semidesnatado e desnatado não diferiram do leite cru, o que reforça a termoestabilidade do fósforo e indica que o processo térmico UHT, por si só, não altera de forma relevante a concentração desse mineral. A elevação observada no leite pasteurizado e no UHT zero lactose associa-se, provavelmente, à adição de sais de fosfato e polifosfatos como agentes estabilizantes (Lucey; Wilbanks; Horne, 2022) e/ou a diferenças na composição de base da matéria-prima captada pela cooperativa, com maior teor proteico e, consequentemente, maior quantidade de fosfato de cálcio coloidal associado às micelas de caseína.

A manutenção do cálcio em níveis estáveis nas quatro modalidades UHT ($R^2 = 0,61$; $p = 0,0092$), sem diferença estatística em relação ao leite cru, indica que o tratamento térmico empregado não promoveu redução significativa do

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

conteúdo de cálcio total nas condições avaliadas. A estabilidade observada é compatível com o comportamento dinâmico dos sais minerais do leite, no qual o cálcio e os fosfatos podem sofrer alterações de solubilidade, precipitação e associação às micelas de caseína durante o aquecimento (Nieuwenhuijse; Huppertz, 2022). A migração temporária de cálcio solúvel para a fase micelar durante o aquecimento é reversível e não altera a quantidade total do elemento na matriz láctea. O menor valor de R^2 observado para o cálcio, em comparação com o ferro e o fósforo, indica que fatores não controlados no delineamento experimental, como variação entre lotes de matéria-prima, sazonalidade, genética do rebanho e regime alimentar, exercem peso proporcionalmente maior na variabilidade do cálcio do que o tipo de processamento tecnológico em si.

Em conjunto, os resultados demonstram que o processamento térmico (pasteurização e UHT) não compromete a integridade mineral global do leite no que se refere ao cálcio e ao fósforo intrínseco e que os produtos processados apresentaram menor concentração de ferro detectável pelo método empregado, além de que em produtos com aditivos funcionais este processamento pode elevar artificialmente o teor de fósforo. Em contrapartida, as variações documentadas nos teores de ferro e fósforo reforçam a necessidade de um rígido controle de qualidade analítico. A menor concentração de ferro detectável nos produtos processados e o incremento do fósforo via aditivos estabilizantes (Tsioulpas *et al*., 2010) destacam a importância do monitoramento espectrofotométrico na rotina de análises clínicas e de alimentos para a validação da qualidade nutricional final.

Por fim, os achados reforçam que a composição mineral do leite comercializado na região do Cerrado do Alto Paranaíba (Minas Gerais) é determinada por uma rede integrada de fatores que inclui as condições edafoclimáticas, o manejo nutricional do rebanho, a composição de base da matéria-prima e as intervenções tecnológicas aplicadas durante o processamento industrial. Estudos longitudinais que acompanhem a variação sazonal e inter-rebanhos na composição mineral do leite cru, bem como a caracterização detalhada dos aditivos presentes nos produtos industrializados, são necessários para estabelecer faixas de referência mais precisas e para orientar políticas de

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

fortificação e controle de qualidade adequadas à realidade produtiva regional.

Referências

AKYL, S. *et al.* Association between dairy intake and health outcomes. **European Journal of Clinical Nutrition**, [*S.l.*], v. 79, n. 2, p. 115-128, 2026. https://doi.org/10.1038/s41430-025-01639-5 Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40715472/. Acesso em: 25 jul. 2026.

ANEMA, S. G. Heat-induced changes in caseins and casein micelles, including interactions with denatured whey proteins. **International Dairy Journal**, [*S.l.*], v. 122, 105136, 2021. http://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105136. Disponivel em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958694621001643. Acesso em: 06 out. 2026.

ANI, A. K. *et al.* Main nutritional deficiencies. **Journal Of Preventive Medicine and Hygiene**, [*S.l.*], v. 63, n. 2S3, 17 out. 2022. http://dx.doi.org/10.15167/2421-4248/JPMH2022.63.2S3.2752. Disponível em: https://www.jpmh.org/index.php/jpmh/article/view/2752. Acesso em: 16 mar. 2026

ARIAS, L.; OSPINO, K. S.; ZAPATA, J. E. Elaboración de Leche Saborizada Fortificada con Hierro Hémico Proveniente de Hidrolizados de Hemoglobina Bovina. **Información Tecnológica**, [*S.l.*], v. 29, n. 4, p. 65-74, ago. 2018. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000400065. Disponível em: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642018000400065&lang=pt. Acesso em: 03 abr. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NUTROLOGIA (Abran**). Consenso da Associação Brasileira de Nutrologia e da Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição sobre o consumo de leite de vaca pelo ser humano.** Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: https://abran.org.br/publicacoes/posicionamento/consenso-leite. Acesso em: 12 mar. 2026.

BRÉJON, M. *et al.* Milk: A Nutritive and Healthy Food? Consumer Perspective and Scientific Evidence. **Applied Sciences**, [*S.l.*], v. 14, n. 9, 2024. https://doi.org/10.3390/app14093577. Disponível em: https://www.mdpi.com/2763186. Acesso em: 24 jul. 2026.

CÂMARA, A. O.; MORAES, O. M. G.; RODRIGUES, L. Tipos de leite e sua contribuição na ingestão diária de sódio e cálcio. **Ciência & Saúde Coletiva**,

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

[*S.l.*], v. 24, n. 8, p. 3099-3106, 2019. Disponível em: https://www.scielo.br/j/csc/a/Lv3JKnzjWBXQy4cxCNs78wf/. Acesso em: 17 mar. 2026.

CONNOLLY, C. *et al.* Impact of dietary regime on the metabolomic profile of bovine buttermilk and whole milk powder. **Metabolomics,** *[S.l.*], v. 20, n. 5, ago. 2024. http://dx.doi.org/10.1007/s11306-024-02157-4. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39096405/. Acesso em: 03 maio 2026.

CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO (CNPq). **Portaria nº 2.664, de 6 de março de 2026**. Dispõe sobre a Política de Integridade na Atividade Científica do CNPq. Brasília, DF, CNPq, 2026. Disponível em: http://memoria2.cnpq.br/web/guest/view/-/journal_content/56_INSTANCE_0oED/10157/23142775. Acesso em: 19 set. 2026.

DEMOTT, B. J.; PARK, J. R. Effect of Processing Milk upon Association of Added Iron with Different Protein Fractions, **Journal of Dairy Science**, [*S.l.*], v. 57,1974. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(74)84840-X. Disponivel em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002203027484840X. Acesso em: 14 out. 2026.

DIAS, Y. H. F. *et al.* Leite de vaca na alimentação humana: uma revisão atualizada com base em evidências. Journal of Social Issues and Health Sciences, Teresina, v. 1, n. 5, p. 1-10, 8 mar. 2024. http://dx.doi.org/10.5281/ZENODO.13182446. Disponível em: https://ojs.thesiseditora.com.br/index.php/jsihs/article/view/48. Acesso em: 26 mar. 2026.

FARAG, M. *et al.* Macrominerais dietéticos: revisão atualizada de seu papel e orquestração na nutrição humana ao longo do ciclo de vida, com diferenças entre os sexos. **Current Research in Food Science,** [*S.l.*], v. 6,100450, 2023. https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100450 Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2665927123000187?via%3Dihub. Acesso em: 3 abr. 2026.

FRANSSON, G.-B.; LÖNNERDAL, B. Distribution of trace elements and minerals in human and cow's milk. **Pediatric Research**, [*S.l.*], v. 17, p. 912-915, 1983. http://doi.org/10.1203/00006450-198311000-00015. Disponível em: https://www.nature.com/articles/pr1983212. Acesso em: 29 set. 2026.

GIVENS, D. I. *et al.* MILK Symposium review: The importance of milk and dairy foods in the diets of infants, adolescents, pregnant women, adults, and the elderly.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

Journal of Dairy Science, [*S.l.*], v. 103, n. 11, p. 9681-9699, 2020. https://doi.org//10.3168/jds.2020-18296. Disponível em: https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(20)30784-0/pdf. Acesso em: 24 jul. 2026.

GUIMARÃES, J. A. **Efeitos da estação do ano e de grupos genéticos sobre a acidez e em outros atributos físico-químicos do leite cru bovino**. 2025. 63 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2025. https://doi.org//10183/296695/001289752.pdf?sequence=1. Disponível em: https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle. Acesso em: 3 abr. 2026.

HARVARD T. H. Chan School of Public Health**. Leite – A Fonte de Nutrição**. 2024. Disponível em: https://nutritionsource.hsph.harvard.edu/milk/. Acesso em: 12 abr. 2026.

HOLVEN, K. B.; SONESTEDT, E. Milk and dairy products: a scoping review for Nordic Nutrition Recommendations. **Food & Nutrition Research**, [*S.l.*], v. 68, 2024. https://doi.org/10.29219/fnr.v68.10486 Disponível em: https://foodandnutritionresearch.net/index.php/fnr/article/view/10486. Acesso em: 04 out. 2026.

INTERNATIONAL COMMITTEE OF MEDICAL JOURNAL EDITORS (ICMJE). **Recommendations for the Conduct, Reporting, Editing, and Publication of Scholarly Work in Medical Journals.** [*S.l.*] ICMJE, 2024. Disponível em: https://www.icmje.org/recommendations/. Acesso em: 4 out. 2026

INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION (IDF). H**eat treatment of milk. Bulletin of the IDF n° 516/2022**. Brussels: IDF, 2022. https://doi.org/10.56169/XMDR7579. Disponível em: https://shop.fil-idf.org/products/bulletin-of-the-idf-n-515-2022-heat-treatment-of-milk Acesso em: 04 out. 2026.

JABLONSKA, T. *et al. The* Role of Bovine Milk-Derived Exosomes in Human Health and Disease. Molecules, [*S.l.*], v. 29, n. 24, 11 dez. 2024. http://dx.doi.org/10.3390/molecules29245835. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39769923/. Acesso em: 9 abr. 2026.

KANDINSKAYA, Y. S.; REDKIN, S. V.; CHEBAKOVA, G. V. Monitoring of calcium content of raw cow milk. **Veterinary Science Today**, [*S.l.*], n. 1, p. 29-33, 2019. http://doi.org/10.29326/2304-196X-2019-1-28-29-33. Disponível em: https://veterinary.arriah.ru/jour/article/view/398. Acesso em: 29 set. 2026.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

KIANI, A. K. *et al.* Main nutritional deficiencies. **Journal Of Preventive Medicine And Hygiene**, [*S.l.*], v. 63, n. 2S3, 17 out. 2022. http://dx.doi.org/10.15167/2421-4248/JPMH2022.63.2S3.2752. Disponível em: https://www.jpmh.org/index.php/jpmh/article/view/2752. Acesso em: 16 mar. 2026.

LAWAN, S. *et al.* Impact of thermal processing on micronutrients and physical stability of milk and cream at dairy production scale, **International Dairy Journal**, [*S.l.*], v.153, 2024. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2024.105901.Disponível:https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958694624000219. Acesso: 14 out. 2026.

LENTON, S.A *et al.* Review of the biology of calcium phosphate sequestration with special reference to milk. **Dairy Science & Technology**, [*S.l.*], v.95, n.1. pg.3-14, 2015, https://doi.org/10.1007/s13594-014-0177-2. Disponível: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4302223/. Acesso: 14 out.2026.

LIN, T. et al. Bioactives in bovine milk: chemistry, technology, and applications. Nutrition Reviews, [*S.l.*], v. 79, n. 2, p. 48-69, 1 dez. 2021. http://dx.doi.org/10.1093/nutrit/nuab099. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34879147/. Acesso em: 1 abr. 2026.

LOPES, C. D. *et al.,* A importância do leite e derivados para a alimentação humana. Revista Atenas, Paracatu, v. 15, n. 2, 2023. Disponível em: https://www.atenas.edu.br/uniatenas/assets/files/magazines/1/A_IMPORT%C3%82NCIA_DO_LEITE_E_DERIVADOS_PARA_A__ALIMENTACAO_HUMANA.pdf. Acesso em: 12 mar. 2026.

LUCEY, J. A.; WILBANKS, D.; HORNE, D. S. Impact of heat treatment of milk on acid gelation. **International Dairy Journal**, [*S.l.*], v. 125, 105222, set. 2022. http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105222 Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/354911387_Impact_of_heat_treatment_of_milk_on_acid_gelationAcesso em: 06 out. 2026.

MARQUES, M. G. M. et al. Consumo de leite de vaca pelo ser humano: uma atualização baseada em evidências. Brazilian Journal Of Health Review, [*S.l.*], v. 7, n. 1, p. 7709-7717, 29 fev. 2024. http://dx.doi.org/10.34119/bjhrv7n1-628. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJHR/article/view/67696. Acesso em: 9 abr. 2026.

MORENO, M. B. C. *et al.* Contaminants in the cow's milk we consume? Pasteurization and other technologies in the elimination of contaminants. **F1000Res**. [*S.l.*] 2022.https://doi.org/10.12688/f1000research.108779. Disponivel

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8822143/#ref189. Acesso em: 14 out. 2026.

NIEUWENHUIJSE, H.; HUPPERTZ, T. Heat-induced changes in milk salts: A review. **International Dairy Journal**, [*S.l.*], v. 126, 105220, mar. 2022. http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105220. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095869462100248X. Acesso em: 04 out. 2026.

PIETERSE, E.; PRETORIUS, B.; SCHÖNFELDT, T. H. C. Comparative proximate analysis and nutrient labelling compliance of cow milk and plant-based milk alternatives: Implications for consumer choice and food policy. **Food Chemistry,** [*S.l.*], v. 502, 147467, 2026. http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.147467. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/41448988/. Acesso em: 01 abr. 2026.

PRANATA, J. *et al.* Effect of dipotassium phosphate addition and heat on proteins and minerals in milk protein beverages. **Journal of Dairy Science,** [*S.l.*], v. 107, n. 2, p. 695-710, 2024. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2023-23768. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030223006690. Acesso em: 05 out. 2026.

SANCHES, N. **Qualidade do leite e suas análises**: revisão bibliográfica. 2023. 24f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia), Jaboticabal, 2023. Disponível em https://repositorio.unesp.br/entities/publication/0ca62f33-587d-4d6a-9aec-b349581a1133. Acesso em: 10 abr. 2026.

SMITH, N. W. *et al.* Modeling the contribution of milk to global nutrition**. Frontiers in Nutrition**, *[S.l.*], v. 8, 13 jan. 2022. http://doi.org/10.3389/fnut.2021.716100. Disponível em: https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2021.716100/full. Acesso em: 20 jun. 2026.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ALIMENTAÇÃO E NUTRIÇÃO (SBAN). **Consenso da Associação Brasileira de Nutrologia e da Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição sobre o consumo de leite de vaca pelo ser humano**. Jardim Paulista, São Paulo, 2023. Disponível em: https://abran.org.br/media/files/abran_consenso_leite.pdf. Acesso em: 12 mar. 2026.

STROHER, J.; NUNES, M. R. S.; SANTOS JUNIOR, L. C. O. Avaliação físico-química durante a vida útil de leite UHT produzido e comercializado no Rio Grande do Sul. **Research, Society and Development**, [*S.l.*], v. 10, n. 3, 2021.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/09/2026 - **Accepted:** 21/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/mpwawt52
Pages: 1-27

http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13193. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/350045413_Avaliacao_fisico-quimica_durante_a_vida_util_de_leite_UHT_produzido_e_comercializado_no_Rio_Grande_do_Sul. Acesso em: 04 out. 2026.

TSIOULPAS, A. *et al.* E.ffects of stabiliser addition and in-container sterilisation on selected properties of milk related to casein micelle stability. **Food Chemistry**, [*S.l.*], v. 122, n. 4, p. 1027-1034, 2010. http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.063**.** Disponivel em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814610003407. Acesso em: 28 ago. 2026.

UDABAGE, P.; McKINNON, I. R.; AUGUSTIN, M. A. Mineral and casein equilibria in milk: effects of added salts and calcium-chelating agents. **Journal of Dairy Research**, [*S.l.*], v. 67, n. 3, p. 361-370, out. 2000. http://doi.org/10.1017/S0022029900004271. Disponível em: https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-dairy-research/article/abs/mineral-and-casein-equilibria-in-milk-effects-of-added-salts-and-calciumchelating-agents/CE3C6FDF497B1CFC4A89D0270D67AD2B Acesso em: 05 out. 2026.

XIA, S. *et al.* Structural characteristics and thermal stabilities of bovine, caprine and ovine lactoferrins with different iron saturation levels. **Science Direct**, [*S.l.*], v. 56, n. 8, 103275, 2023. http://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103275. Disponivel em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212429223009264?via%3Dihub Acesso em: 4 out. 2026.

ZHANG, X. *et al.* Milk consumption and multiple health outcomes: umbrella review. **Nutrition & Metabolism,** [*S.l.*], v. 18, art. 7, 2021. http://doi.org/10.1186/s12986-020-00527-y Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/348324530_Milk_consumption_and_multiple_health_outcomes_umbrella_review_of_systematic_reviews_and_meta-analyses_in_humans. Acesso em: 25 jul. 2026.

CC BY