Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação — REASE

doi.org/10.51891/rease.v12i11.32779

IMPORTÂNCIA DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E ENZIMÁTICOS NO CONTROLE DA QUALIDADE DO LEITE BOVINO: UMA REVISÃO NARRATIVA

IMPORTANCE OF PHYSICOCHEMICAL AND ENZYMATIC PARAMETERS IN CONTROLLING THE QUALITY OF COW'S MILK: A NARRATIVE REVIEW

IMPORTANCIA DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y ENZIMÁTICOS EN EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LA LECHE BOVINA: UNA REVISIÓN NARRATIVA

Adriane Caroline Ferreira[1]
Paulo Tadeu Figueira[2]

RESUMO: O leite apresenta elevada importância nutricional e econômica, sendo sua qualidade influenciada pela composição, obtenção, armazenamento e processamento. Este estudo objetivou analisar a importância dos parâmetros físico-químicos e enzimáticos no controle da qualidade do leite bovino, considerando sua relação com a composição, conservação, identificação de adulterações e eficiência do tratamento térmico. Trata-se de uma revisão narrativa, de abordagem qualitativa, fundamentada em 27 documentos, incluindo artigos científicos, publicações técnicas, livros e legislação vigente, consultados em bases científicas e portais oficiais. Foram analisados parâmetros como pH, acidez, gordura, lactose, proteínas, índice crioscópico, sólidos totais e atividade das enzimas fosfatase alcalina e peroxidase, além dos fatores que interferem em seus resultados. A análise evidenciou que a interpretação conjunta desses indicadores permite uma avaliação mais abrangente da qualidade do leite, uma vez que nenhum parâmetro isolado contempla todos os aspectos relacionados à segurança e à conformidade do produto. Conclui-se que o monitoramento físico-químico e enzimático, associado às boas práticas de ordenha, higienização, refrigeração e controle sanitário, é fundamental para assegurar a qualidade do leite bovino e o atendimento aos padrões legais estabelecidos.

Palavras-chave: Composição do leite. Controle de qualidade. Qualidade do leite.

ABSTRACT: Milk has significant nutritional and economic importance, and its quality is influenced by its composition, production, storage, and processing conditions. This study aimed to analyze the importance of physicochemical and enzymatic parameters in bovine milk quality control, considering their relationship with composition, preservation, adulteration detection, and heat treatment efficiency. This narrative review adopted a qualitative approach and was based on 27 documents, including scientific articles, technical publications, books, and legislation retrieved from scientific databases and official websites. The parameters analyzed included pH, acidity, fat, lactose, proteins, freezing point, total solids, and the activity of alkaline phosphatase and peroxidase, as well as factors affecting their results. The analysis demonstrated that the combined interpretation of these indicators provides a more comprehensive assessment of milk quality, since no single parameter encompasses all aspects related to product safety and compliance. It is concluded that physicochemical and enzymatic monitoring, combined with good milking practices, hygiene, refrigeration, and sanitary control, is essential to ensure bovine milk quality and compliance with established legal standards.

Keywords: Milk composition. Quality control. Milk quality.

[1]Acadêmica do 10º período de Medicina Veterinária. Centro Universitário de Cascavel – UNIVEL.
[2]Médico-veterinário, especialista, mestre e doutor. Docente e Pró-reitor Acadêmico. Centro Universitário de Cascavel – UNIVEL.

RESUMEN: La leche tiene una gran importancia nutricional y económica, y su calidad está influenciada por la composición, las condiciones de obtención, el almacenamiento y el procesamiento. Este estudio tuvo como objetivo analizar la importancia de los parámetros fisicoquímicos y enzimáticos en el control de calidad de la leche bovina, considerando su relación con la composición, la conservación, la detección de adulteraciones y la eficiencia del tratamiento térmico. Se realizó una revisión narrativa, con enfoque cualitativo, basada en 27 documentos, incluidos artículos científicos, publicaciones técnicas, libros y legislación, consultados en bases de datos científicas y portales oficiales. Se analizaron parámetros como pH, acidez, grasa, lactosa, proteínas, índice crioscópico, sólidos totales y actividad de las enzimas fosfatasa alcalina y peroxidasa, así como los factores que influyen en sus resultados. El análisis evidenció que la interpretación conjunta de estos indicadores permite una evaluación más completa de la calidad de la leche, ya que ningún parámetro aislado contempla todos los aspectos relacionados con la seguridad y la conformidad del producto. Se concluye que el monitoreo fisicoquímico y enzimático, asociado con las buenas prácticas de ordeño, higiene, refrigeración y control sanitario, es fundamental para garantizar la calidad de la leche bovina y el cumplimiento de las normas legales establecidas.

Palabras clave: Composición de la leche. Control de calidad. Calidad de la leche.

INTRODUÇÃO

O leite ocupa lugar de destaque na alimentação humana e na cadeia produtiva de alimentos, seja como produto de consumo direto, seja como matéria-prima para queijos, iogurtes, manteiga e uma série de outros derivados. Sua qualidade depende da composição, das condições de obtenção, do armazenamento e dos procedimentos adotados durante o processamento, motivo pelo qual a avaliação da matéria-prima se tornou etapa obrigatória para identificar alterações capazes de comprometer o produto e o seu aproveitamento industrial. No Brasil, a Instrução Normativa nº 76 (Brasil, 2018a), com as alterações introduzidas pelas Instruções Normativas nº 58/2019 e nº 55/2020 (Brasil, 2019; 2020), fixa os requisitos de identidade e qualidade do leite cru refrigerado e do leite pasteurizado, enquanto a Instrução Normativa nº 77 (Brasil, 2018b) estabelece critérios para a produção, o acondicionamento, a conservação, o transporte, a seleção e a recepção do leite cru.

Do ponto de vista químico, o leite bovino é uma combinação de diversos elementos sólidos dispersos em água, com destaque para gordura, proteínas, lactose, sais minerais e vitaminas (Brito et al., 2021b). A proporção desses constituintes varia com características dos animais, alimentação, estágio de lactação e condições de produção, de modo que duas amostras coletadas no mesmo município podem apresentar resultados bem diferentes. Conhecer essa composição ajuda a interpretar as análises feitas no recebimento e no processamento da matéria-

prima, tema que Müller e Rempel (2021) apontam como recorrente nos estudos sobre a qualidade do leite produzido no Brasil.

Entre os parâmetros empregados na avaliação do leite estão o pH, a acidez, o teor de gordura, o índice crioscópico e os sólidos totais, cada um responsável por um tipo específico de informação. A determinação do pH auxilia na identificação de alterações no equilíbrio ácido-base da amostra, enquanto a acidez titulável aponta mudanças ligadas à conservação e à atividade microbiana; o teor de gordura, por sua vez, interessa tanto ao valor nutricional quanto à padronização dos derivados (Dias; Antes, 2014). Nenhum desses resultados, isoladamente, conta a história completa da amostra.

Complementarmente, a crioscopia mede o ponto de congelamento do leite e é a ferramenta mais utilizada nos laticínios para investigar a possível adição de água (Brito et al., 2021d), embora seus desvios também possam refletir falhas de amostragem ou condições sanitárias e fisiológicas do rebanho. A determinação dos sólidos totais, por outro lado, quantifica tudo o que permanece na amostra quando a água é removida. Segundo Ledur et al. (2020), a interpretação conjunta desses resultados oferece um retrato mais amplo da matéria-prima do que a leitura de um único indicador, sobretudo quando o objetivo é verificar a conformidade com a legislação.

A lactose e as proteínas também ocupam posição relevante na caracterização do leite. Principal carboidrato do leite bovino, a lactose participa da manutenção do equilíbrio osmótico da secreção láctea (Costa et al., 2019). As proteínas, representadas pela caseína e pelas proteínas do soro, têm peso nutricional e tecnológico, especialmente na fabricação de queijos, e sua quantificação permite verificar o atendimento aos teores mínimos exigidos para o leite cru refrigerado (Brasil, 2018a; Diniz Neto, 2024).

No que diz respeito ao tratamento térmico, as enzimas fosfatase alcalina e peroxidase funcionam como indicadores auxiliares. A fosfatase alcalina é sensível às condições de pasteurização, ao passo que a peroxidase resiste a essas temperaturas, o que torna a leitura combinada das duas provas bastante informativa, desde que interpretada conforme o processo aplicado e as possíveis interferências analíticas. Rankin et al. (2010) lembram que a fosfatase é usada há décadas como prova de pasteurização, e a Instrução Normativa nº 76 estabelece, para o leite pasteurizado, prova de fosfatase negativa e de peroxidase positiva (Brasil, 2018a).

Diante desses aspectos, o controle de qualidade do leite depende de análises bem conduzidas e da interpretação conjunta de seus resultados, mas não termina no laboratório. Boas

práticas de ordenha, higienização dos equipamentos, refrigeração adequada e cuidado no transporte formam a base sem a qual nenhum resultado analítico se sustenta, como reforçam Teixeira et al. (2018) ao tratar dos tanques coletivos. Desde a Instrução Normativa nº 77 (Brasil, 2018b), essas práticas deixaram de ser apenas recomendações e passaram a integrar o Plano de Qualificação de Fornecedores de Leite exigido dos estabelecimentos sob inspeção.

O presente trabalho tem como objetivo analisar, por meio de uma revisão bibliográfica, a importância dos principais parâmetros utilizados na avaliação da qualidade do leite, com ênfase no pH, na acidez, no teor de gordura, na lactose, nas proteínas, no índice crioscópico, nos sólidos totais e nas enzimas fosfatase alcalina e peroxidase. Busca-se discutir a contribuição de cada indicador para a caracterização da matéria-prima, os métodos e critérios empregados em sua interpretação e o papel desses resultados no controle de qualidade ao longo da cadeia produtiva.

MÉTODOS

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão bibliográfica do tipo narrativa, de abordagem qualitativa e caráter descritivo. Gil (2022) define a pesquisa bibliográfica como aquela desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos, e destaca como sua principal vantagem a possibilidade de cobrir uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que se poderia investigar diretamente. No caso da qualidade do leite, essa amplitude é necessária, pois o tema reúne legislação, química, microbiologia, sanidade animal e tecnologia de alimentos.

A escolha pela revisão narrativa, em lugar de uma revisão sistemática, foi intencional. Rother (2007) explica que as revisões narrativas são publicações amplas, apropriadas para descrever e discutir o desenvolvimento ou o estado da arte de determinado assunto sob o ponto de vista teórico ou contextual, sem exigir a aplicação de protocolos estatísticos de busca e síntese. Como o objetivo deste trabalho é discutir a função e a interpretação de diferentes parâmetros, e não medir o efeito de uma intervenção específica, esse delineamento mostrou-se o mais adequado.

O levantamento do material foi realizado entre agosto e outubro de 2026, nas bases e repositórios SciELO, Google Acadêmico, portal de periódicos do Journal of Dairy Science, Infoteca-e e Alice, repositórios de acesso aberto da Embrapa, além dos portais de periódicos de universidades brasileiras. A legislação brasileira foi consultada diretamente nos portais oficiais

do Governo Federal e do Ministério da Agricultura e Pecuária, contemplando o Decreto nº 9.013, a Instrução Normativa nº 76, com as alterações das Instruções Normativas nº 58/2019 e nº 55/2020, e a Instrução Normativa nº 77 (Brasil, 2017; 2018a; 2018b; 2019; 2020). A Decisão 91/180/CEE, obtida no EUR-Lex, foi mantida apenas como referência histórica, pois foi revogada pelo Regulamento (CE) nº 1664/2006 com efeitos a partir de 1º de maio de 2007 (União Europeia, 2006).

Para a busca, foram utilizados descritores em português e em inglês, isolados ou combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR: "qualidade do leite", "leite cru refrigerado", "composição do leite", "pH", "acidez titulável", "gordura", "lactose", "proteína", "crioscopia", "índice crioscópico", "sólidos totais", "fosfatase alcalina", "peroxidase", "milk quality", "milk composition", "freezing point", "milk lactose", "milk protein" e "alkaline phosphatase". A combinação dos termos foi ajustada conforme a base consultada, procedimento comum em revisões narrativas, nas quais a estratégia de busca pode ser flexível (Rother, 2007).

Foram adotados como critérios de inclusão: documentos disponíveis na íntegra, em acesso aberto ou, no caso de livros técnicos de referência, incluídos como fontes bibliográficas de referência; publicações em português ou inglês; trabalhos que tratassem de leite bovino e abordassem ao menos um dos parâmetros estudados, seus métodos de determinação, fatores de variação ou aplicação no controle de qualidade; e legislação vigente, admitindo-se atos revogados apenas quando historicamente relevantes para a interpretação dos padrões atuais. Por esse critério, obras consolidadas de tecnologia de laticínios, como a de Walstra, Wouters e Geurts (2006), integraram o corpus mesmo não sendo de acesso gratuito. Priorizaram-se publicações dos últimos 20 anos, sem excluir obras de referência mais antigas quando estas continuavam sendo adotadas pela literatura técnica, como a decisão europeia sobre métodos de análise do leite tratado termicamente (União Europeia, 1991), aqui tratada exclusivamente como registro histórico.

Foram excluídos trabalhos duplicados, resumos sem acesso ao texto completo, estudos voltados exclusivamente ao leite de outras espécies, publicações sem identificação de autoria ou instituição responsável e textos de opinião sem fundamentação técnica. O cuidado com a autoria e a procedência das fontes seguiu a recomendação de Gil (2022) de avaliar a qualidade do material bibliográfico antes de incorporá-lo à pesquisa, especialmente quando se trata de conteúdo disponível na internet.

A seleção ocorreu em três etapas. Na primeira, foram lidos os títulos e resumos dos documentos localizados; na segunda, os textos pré-selecionados foram lidos na íntegra para confirmar sua pertinência; na terceira, realizou-se a leitura analítica, com fichamento das informações sobre conceitos, valores de referência, métodos e resultados. Ao final, 27 documentos compuseram o corpus temático, distribuídos conforme o Quadro 1. Gil (2022) e Rother (2007), utilizados apenas para a fundamentação metodológica, a Instrução Normativa nº 58/2019, citada para contextualizar alterações normativas, e o Regulamento (CE) nº 1664/2006, citado somente para registrar a revogação da Decisão 91/180/CEE (União Europeia, 2006), constam nas referências, mas não integram esse corpus, o que explica a diferença entre o total do quadro e o número de referências do trabalho.

Quadro 1 - Distribuição dos documentos do corpus temático por tipo de fonte

Tipo de documento	Nº	Documentos
Legislação e normas	5	Brasil (2017); Brasil (2018a); Brasil (2018b); Brasil (2020); União Europeia (1991), esta como referência histórica
Artigos científicos	9	Zanela et al. (2006); Rankin et al. (2010); Milani et al. (2016); Carvalho et al. (2019); Costa et al. (2019); Greenwood e Honan (2019); Ledur et al. (2020); Carter et al. (2021); Müller e Rempel (2021)
Publicações técnicas da Embrapa	9	Mendonça, Guimarães e Brito (2012); Dias e Antes (2014); Teixeira et al. (2018); Brito et al. (2021a; 2021b; 2021c; 2021d; 2021e; 2021f)
Livros, manuais e conteúdo institucional	3	Walstra, Wouters e Geurts (2006); Tetra Pak (2015); FAO (2026)
Tese	1	Diniz Neto (2024)
Total	**27**	

Fonte: elaborado pela autora (2026). Nota: GIL (2022), ROTHER (2007), BRASIL (2019) e UNIÃO EUROPEIA (2006) constam nas referências como fontes de apoio metodológico e documental, sem integrar o corpus temático.

A análise dos dados foi conduzida de forma qualitativa e temática. As informações extraídas foram organizadas segundo os parâmetros de interesse (pH, acidez, gordura, lactose, proteínas, crioscopia, sólidos totais, fosfatase alcalina e peroxidase) e, em seguida, comparadas entre si e com os requisitos da Instrução Normativa nº 76, com as alterações das Instruções Normativas nº 58/2019 e nº 55/2020, e da Instrução Normativa nº 77 (Brasil, 2018a; 2018b; 2019; 2020), o que deu origem às seções da revisão de literatura e ao capítulo de discussão. Por se tratar de pesquisa exclusivamente bibliográfica e documental, sem coleta de dados envolvendo participantes humanos ou experimentação animal, não houve submissão ao comitê de ética, e todas as fontes foram devidamente citadas e referenciadas conforme as normas da ABNT.

DESENVOLVIMENTO

O leite bovino é um alimento de elevada importância nutricional por reunir diferentes nutrientes necessários à alimentação humana. Constituído principalmente por água, contém ainda gordura, proteínas, lactose, minerais e vitaminas, em proporções que não são fixas e variam conforme raça, idade e estágio de lactação do animal, além da alimentação, do sistema de produção, da estação do ano e das condições ambientais (FAO, 2026).

Segundo Brito et al. (2021b), os termos sólidos totais ou extrato seco total englobam todos os componentes do leite exceto a água, enquanto os sólidos não gordurosos, também chamados de extrato seco desengordurado, reúnem todos os elementos menos a água e a gordura. Essas frações fornecem informações importantes sobre a matéria-prima e podem variar entre sistemas de produção, como demonstraram estudos realizados com leite bovino no Rio Grande do Sul (Zanela et al., 2006; Milani et al., 2016).

Além da composição natural, a qualidade do leite depende das condições de obtenção, armazenamento e transporte. Após a ordenha, o produto permanece suscetível a alterações, sobretudo quando falham a higiene e a refrigeração, e a matéria-prima pode chegar à indústria já comprometida em suas características físico-químicas e microbiológicas (Müller; Rempel, 2021).

Os parâmetros físico-químicos usados na rotina incluem acidez, pH, densidade, teor de gordura, sólidos totais e índice crioscópico. Para Müller e Rempel (2021), a análise conjunta desses indicadores auxilia na verificação da conformidade do leite e ajuda a identificar alterações relacionadas à composição, à conservação ou a possíveis adulterações.

A composição do leite influencia o rendimento industrial e as características dos derivados lácteos. Acompanhar os principais parâmetros físico-químicos é necessário não apenas para avaliar o leite destinado ao consumo, mas também para garantir uma matéria-prima adequada à indústria (Zanela et al., 2006; Milani et al., 2016).

Sob tal enfoque, a avaliação da qualidade do leite precisa ser integrada, considerando composição, condições de produção e conservação. O uso de diferentes parâmetros gera informações complementares, e a análise físico-química se consolida como ferramenta de controle ao longo de toda a cadeia produtiva (Müller; Rempel, 2021).

A composição do leite não é uma constante biológica. Brito et al. (2021b) observam que ela muda conforme o estágio de lactação: no colostro, por exemplo, o conteúdo de proteína é

maior e o de lactose encontra-se reduzido, situação que se inverte à medida que a lactação avança. Os mesmos autores registram que a porcentagem de proteína varia, entre outros fatores, com a raça, e acompanha a quantidade de gordura, de modo que leites mais gordurosos tendem a apresentar também mais proteína.

O sistema de produção soma-se a essas variações individuais. Zanela et al. (2006) avaliaram propriedades da região Sul do Rio Grande do Sul organizadas em diferentes sistemas e verificaram que características físico-químicas e de qualidade do leite diferiam conforme o sistema adotado. Trata-se de um achado com consequência prática direta: a mesma legislação se aplica a realidades produtivas muito distintas.

A sazonalidade é outro ponto sensível. Em estudo que comparou sistemas de produção ao longo de diferentes anos e estações climáticas, Milani et al. (2016) identificaram que a época do ano e o sistema adotado influenciaram parâmetros de qualidade do leite, o que reforça a necessidade de interpretar resultados laboratoriais à luz do momento em que a amostra foi coletada. Uma queda nos sólidos durante o verão, por exemplo, nem sempre significa fraude; pode refletir oferta de forragem, estresse térmico ou mudança no manejo.

Talvez a alimentação seja o fator mais manejável dessa lista. Dias e Antes (2014) destacam que a dieta exerce efeito marcante sobre o teor de proteína, enquanto a lactose praticamente não se altera, e que a gordura responde a raça, estágio de lactação, alimentação e sanidade da glândula mamária. Essa diferença de sensibilidade entre os componentes é útil na interpretação: variações acentuadas de lactose costumam despertar mais suspeita do que oscilações de gordura.

Do ponto de vista da indústria, essas variações não são um detalhe acadêmico. Ledur et al. (2020), ao analisarem amostras de tanques de 56 produtores coletadas entre 2005 e 2007, encontraram diferenças entre rotas de coleta e entre estações do ano nos sólidos totais, evidência de que, naquele período, a composição da matéria-prima recebida por um laticínio flutuava de forma considerável. Embora não retratem o cenário atual, esses dados ilustram por que conhecer as causas dessa flutuação ajuda a separar a variação natural daquela que exige investigação.

A diversidade de cenários também aparece na literatura nacional. Ao reunir estudos sobre o leite bovino produzido no Brasil, Müller e Rempel (2021) encontraram resultados bastante heterogêneos para os parâmetros físico-químicos e microbiológicos, reflexo das diferenças regionais de clima, de estrutura produtiva e de assistência técnica. Para quem

interpreta laudos, a lição é clara: um valor considerado comum em uma bacia leiteira pode ser atípico em outra, e o histórico da própria propriedade costuma ser a melhor referência.

O pH expressa a concentração de íons hidrogênio no leite e é um dos parâmetros físico-químicos mais simples de obter. Conforme Brito et al. (2021f), o leite fresco apresenta reação ligeiramente ácida, com valores entre 6,6 e 6,8, característica associada à própria composição do produto, que inclui proteínas, sais minerais e outros componentes com efeito tamponante.

Quando há crescimento de microrganismos capazes de fermentar a lactose, forma-se ácido lático e o pH tende a cair. Valores abaixo da faixa considerada normal podem estar ligados a falhas de higiene, conservação ou armazenamento, processo que o manual da Tetra Pak (2015) associa à atividade de bactérias láticas no leite mantido sem refrigeração adequada.

O movimento contrário também ocorre. No leite proveniente de glândulas mamárias com inflamação, a composição se modifica e o pH pode se elevar, chegando a 7,3 ou 7,5 (Brito et al., 2021f). Um valor alcalino merece tanta atenção quanto um valor ácido, mas não permite, isoladamente, estabelecer o diagnóstico de mastite: final de lactação, retenção de leite e adição de água também podem elevar o pH (Brito et al., 2021a). A suspeita sanitária só ganha consistência quando o resultado é confrontado com a contagem de células somáticas, com o exame clínico dos animais e com os demais resultados do rebanho (Dias; Antes, 2014).

Apesar de útil, o pH não deve ser analisado isoladamente. A Instrução Normativa nº 76 (Brasil, 2018a) inclui entre os requisitos do leite cru refrigerado a acidez titulável, a estabilidade ao alizarol e a composição físico-química, e é da leitura conjunta desses indicadores que emerge uma avaliação adequada das condições de obtenção, conservação e processamento do produto.

O acompanhamento do pH contribui para o controle da qualidade, especialmente quando associado a boas práticas de ordenha, higiene dos equipamentos, refrigeração e controle microbiológico (Tetra Pak, 2015; Brasil, 2018a).

Um detalhe técnico costuma ser ignorado na rotina: o pH do leite depende da temperatura da amostra. Brito et al. (2021f) informam que a média de 6,7 corresponde à leitura a 20 °C, caindo para cerca de 6,6 a 25 °C. Comparar resultados obtidos em temperaturas diferentes, sem correção, pode levar a conclusões equivocadas sobre a qualidade de um lote.

Lido ao lado da acidez em graus Dornic, o pH ganha poder interpretativo. Na tabela de referência apresentada por Brito et al. (2021a), pH entre 6,6 e 6,8 associado a 15 a 18 °D corresponde ao leite normal; valores iguais ou superiores a 6,9 com acidez inferior a 15 °D sugerem leite alcalino, situação que os autores associam a vacas com mastite, final de lactação,

retenção de leite ou adição de água; já pH entre 6,5 e 6,6 com 19 a 20 °D pode indicar leite ligeiramente ácido, como o do início da lactação, o leite com colostro ou aquele em início de fermentação. São associações possíveis, e não diagnósticos: a tabela orienta a investigação, mas não identifica sozinha a causa do desvio.

Essa leitura cruzada é especialmente valiosa porque um mesmo pH pode ter origens diferentes. Um leite com pH levemente baixo pode estar começando a fermentar, mas também pode conter colostro; o laudo isolado não distingue as duas situações, e a decisão de aceitar ou recusar o lote exige outros testes, como a estabilidade ao alizarol (Dias; Antes, 2014).

Os dados de campo ilustram essa lógica. Carvalho et al. (2019), ao analisarem leites crus comercializados em Paulistana, no Piauí, encontraram pH de 6,5 em duas das três amostras, justamente as que também apresentaram acidez acima do limite e instabilidade ao álcool 72%, enquanto a terceira amostra crua e as duas marcas de leite UHT registraram pH de 6,7. Os autores atribuíram as alterações à deterioração microbiana, um exemplo concreto de como o pH funciona como sinal de alerta inicial.

O pH também tem relevância tecnológica, pois interfere na estabilidade térmica do leite e no comportamento das proteínas durante o processamento (Tetra Pak, 2015). Um lote com pH fora da faixa normal pode coagular no pasteurizador ou comprometer a fabricação de derivados, o que torna essa medida rápida e barata uma etapa difícil de dispensar no recebimento.

Na plataforma de recepção, o pH raramente é o primeiro teste aplicado, mas costuma ajudar a esclarecer dúvidas. Quando a prova do alizarol produz coloração violeta ou azulada, Dias e Antes (2014) interpretam o resultado como sinal de leite alcalino, e a medição do pH permite verificar se o desvio realmente existe e qual sua magnitude. Um valor próximo de 7,0, nesse caso, pode sugerir mastite ou leite de final de lactação, mais do que problemas de conservação, hipótese que precisa ser verificada pela contagem de células somáticas e pela avaliação sanitária do rebanho.

Também merece registro o fato de que o pH dos leites industrializados avaliados por Carvalho et al. (2019) permaneceu em 6,7, dentro da faixa esperada, enquanto as alterações se concentraram no leite cru vendido sem inspeção. O dado é pontual, de um único município, mas reforça uma impressão recorrente na literatura: o risco maior está no leite que escapa do controle oficial, e não naquele que passa pelas etapas de inspeção e processamento (Müller; Rempel, 2021).

Curiosamente, a Instrução Normativa nº 76 (Brasil, 2018a) não fixa uma faixa de pH entre os requisitos físico-químicos do leite cru refrigerado, privilegiando a acidez titulável e a estabilidade ao alizarol como critérios de aceitação. Isso não diminui a importância do pH; apenas desloca seu papel para o campo da investigação complementar, em que a medida ajuda a explicar resultados atípicos dos testes oficiais e a orientar a assistência técnica ao produtor.

Entre os parâmetros de qualidade, a acidez é um dos mais tradicionais. O leite recém-ordenhado já apresenta uma acidez natural, chamada de acidez aparente, relacionada principalmente à presença de proteínas, sais minerais, fosfatos e citratos, e por esse motivo a simples presença de acidez não significa que o produto esteja deteriorado (Dias; Antes, 2014).

A forma mais usual de avaliar esse parâmetro é a acidez titulável, expressa em graus Dornic (°D) ou em gramas de ácido lático por 100 mL. No leite normal, os valores ficam entre 14 e 18 °D, o que corresponde a 0,14 a 0,18 g de ácido lático/100 mL, faixa adotada pela Instrução Normativa nº 76 para o leite cru refrigerado (Brasil, 2018a).

Acidez acima do esperado costuma resultar da multiplicação de microrganismos que utilizam a lactose e produzem ácido lático, configurando a chamada acidez desenvolvida ou real. Dias e Antes (2014) associam esse quadro a falhas de higiene na ordenha, limpeza deficiente dos equipamentos e demora no resfriamento, condições que favorecem o crescimento bacteriano antes de o leite chegar à indústria.

Valores abaixo do esperado também merecem atenção. Brito et al. (2021a) associam a acidez reduzida a leites alcalinos, como os de vacas com mastite ou em final de lactação, e também à adição de água, o que mostra que uma acidez baixa pode sugerir problema sanitário ou diluição, e não necessariamente boa conservação. A distinção entre essas hipóteses depende de outros exames, como a contagem de células somáticas e a crioscopia (Dias; Antes, 2014).

A Instrução Normativa nº 76 (Brasil, 2018a) exige, para o leite cru refrigerado, acidez titulável entre 0,14 e 0,18 g de ácido lático/100 mL, ao lado de outros requisitos físico-químicos e microbiológicos que precisam ser atendidos antes de a matéria-prima seguir para o processamento.

Dessa maneira, a avaliação da acidez acompanha o leite da propriedade à indústria. Associada ao pH, à estabilidade ao alizarol e à avaliação microbiológica, ela permite uma leitura mais completa das condições do produto (Dias; Antes, 2014; Brasil, 2018a).

O princípio da titulação é simples. Segundo Brito et al. (2021a), uma solução alcalina de hidróxido de sódio (NaOH N/9, a chamada solução Dornic) é adicionada à amostra até que o

indicador fenolftaleína faça o leite adquirir coloração rósea; o volume gasto revela a quantidade de ácido presente. Cada décimo de mililitro consumido equivale a um grau Dornic, daí a praticidade do método nas plataformas de recepção.

Um ponto pouco lembrado é que a acidez aparente varia entre leites normais. Brito et al. (2021a) observam que amostras com acidez titulável mais elevada, dentro da faixa considerada normal, tendem a apresentar teores maiores de proteína e de minerais do que aquelas com acidez menor. Um leite com 18 °D não é, necessariamente, pior do que outro com 15 °D; pode simplesmente ser mais rico em sólidos.

Na propriedade e no momento da coleta, a ferramenta mais usada é a prova do alizarol. Dias e Antes (2014) descrevem o teste como uma triagem feita antes da mistura do leite no caminhão: a amostra normal mantém coloração rósea a lilás, sem coágulos, enquanto a coloração amarelada com grumos sugere leite ácido e a tonalidade violeta ou azulada sugere leite alcalino. O leite ácido ou instável deve ser recusado.

Essa prova foi incorporada pela legislação vigente como requisito. Conforme a Instrução Normativa nº 76 (Brasil, 2018a), o leite cru refrigerado deve ser estável ao alizarol na concentração mínima de 72% (v/v), parâmetro que funciona como indicador indireto tanto da acidez quanto da estabilidade térmica da matéria-prima.

Os dados de Carvalho et al. (2019) ilustram bem a combinação dos testes. Nas amostras de leite cru comercializadas em Paulistana, duas apresentaram acidez de 0,23% e 0,27%, acima do limite de 0,18%, e ambas foram instáveis ao álcool 72%; uma delas também teve resultado positivo para cloretos, achado que os autores relacionaram à possível adição de sal para mascarar aguagem, embora reconheçam que a mastite pode gerar falso positivo. Um único lote reuniu indícios de deterioração e de possível fraude, algo que nenhum teste isolado teria revelado.

A utilidade da acidez titulável vai além da aceitação do leite cru. Brito et al. (2021a) destacam que o teste é empregado tanto para classificar o leite quanto como guia no controle da fabricação de produtos como o queijo, em que a evolução da acidez durante a coagulação e a dessoragem orienta o ponto de corte da massa e a qualidade final do produto.

Na mesma linha, os autores relacionam a acidez à resistência térmica do leite: amostras ligeiramente ácidas, mesmo quando ainda dentro de limites próximos aos normais, tendem a apresentar menor estabilidade durante o aquecimento (Brito et al., 2021a). Para a indústria, isso significa risco de coagulação nos trocadores de calor, perdas de produto e paradas de linha, consequências que justificam o rigor com que a acidez é controlada no recebimento.

As diferentes formas de expressar o resultado costumam confundir quem está começando na rotina laboratorial. Dias e Antes (2014) resumem a equivalência: a faixa normal de 0,14 a 0,18 g de ácido lático por 100 mL corresponde a 14 a 18 °D e, aproximadamente, a pH entre 6,6 e 6,8, com titulação feita por solução de hidróxido de sódio 0,111 N. Os autores indicam ainda que a acidez deve ser verificada diariamente, frequência coerente com a rapidez com que o leite mal conservado se deteriora.

Um dos principais componentes do leite é a gordura, importante tanto para o valor nutricional quanto para as características dos derivados. Formada principalmente por triglicerídeos, com outros lipídios em menor quantidade, ela contribui para sabor, aroma, textura e valor energético do produto (Walstra; Wouters; Geurts, 2006).

O teor de gordura varia bastante entre animais e ao longo da lactação. Raça, alimentação, estágio de lactação e condições individuais influenciam esse componente, e não é esperado que todo o rebanho produza leite com o mesmo teor (Walstra; Wouters; Geurts, 2006).

A alimentação merece destaque. Mudanças na dieta alteram o funcionamento do rúmen e, consequentemente, a disponibilidade dos precursores que a glândula mamária utiliza na síntese da gordura; Dias e Antes (2014) acrescentam que a mastite também pode reduzir esse teor, o que faz do manejo nutricional e sanitário um fator decisivo na composição final do leite.

Na indústria de laticínios, a gordura interfere na textura, na cremosidade e no sabor de diferentes produtos. Conhecer seu teor é necessário tanto para avaliar a matéria-prima quanto para definir sua destinação no processamento, seja para leite de consumo, creme, manteiga ou queijo (Tetra Pak, 2015).

No Brasil, a Instrução Normativa nº 76 (Brasil, 2018a) estabelece teor mínimo de 3,0 g de gordura por 100 g para o leite cru refrigerado, além de valores específicos para o leite pasteurizado conforme sua classificação como integral, semidesnatado ou desnatado.

Como esse componente sofre influência de múltiplos fatores, sua avaliação deve ocorrer junto a outros parâmetros físico-químicos, permitindo uma análise mais completa da qualidade do leite (Walstra; Wouters; Geurts, 2006; Brasil, 2018a).

O método clássico de determinação da gordura no Brasil ainda é o de Gerber. Brito et al. (2021c) explicam que o leite é tratado com ácido sulfúrico e álcool amílico no butirômetro de Gerber, procedimento que destrói a membrana dos glóbulos de gordura e dissolve a caseína, permitindo a separação da fração lipídica por centrifugação e sua leitura direta na escala do aparelho.

A rotina dos grandes laboratórios, no entanto, mudou. Os equipamentos baseados na absorção de radiação infravermelha em comprimentos de onda específicos permitem determinar simultaneamente gordura, proteína, lactose e sólidos totais (Brito et al., 2021c), e Dias e Antes (2014) registram que os laboratórios da Rede Brasileira de Laboratórios de Controle da Qualidade do Leite empregam essa tecnologia, reservando métodos como Gerber e Rose-Gottlieb para referência.

Os valores encontrados na prática costumam superar o mínimo legal. Dias e Antes (2014) indicam média em torno de 3,9% de gordura no leite cru, bem acima do limite de 3,0 g/100 g, mas lembram que a mastite pode reduzir esse teor em até 0,3 ponto percentual, perda nada desprezível para quem recebe pagamento por qualidade.

Entre os componentes do leite, a gordura é o mais manipulado na indústria. O processo de padronização ajusta o teor de gordura do leite ao valor desejado para cada produto, retirando ou acrescentando creme por meio de separadoras centrífugas e sistemas de controle em linha (Tetra Pak, 2015). Não por acaso, a legislação diferencia leite integral, semidesnatado e desnatado (Brasil, 2018a).

Fisicamente, a gordura se encontra dispersa em glóbulos envoltos por uma membrana, e o tamanho desses glóbulos condiciona fenômenos como a formação de creme durante o repouso (Walstra; Wouters; Geurts, 2006). A homogeneização reduz o diâmetro dos glóbulos e retarda essa separação, detalhe que importa para a amostragem: uma amostra mal homogeneizada antes da análise pode gerar resultado de gordura subestimado ou superestimado, comprometendo o laudo.

A gordura também interfere em outros resultados laboratoriais. Brito et al. (2021e) informam que a densidade da gordura do leite é de aproximadamente 0,927, enquanto a do leite desnatado fica em torno de 1,035. Na prática, um leite com 3,0% de gordura apresenta densidade próxima de 1,0295, e outro com 4,5% registra cerca de 1,0277. Retirar gordura eleva a densidade, e é justamente essa propriedade que permite a combinação fraudulenta de desnate com adição de água, que pode manter a densidade aparentemente normal.

Do ponto de vista econômico, o teor de gordura entra no cálculo do valor pago ao produtor em muitos programas de pagamento por qualidade, ao lado da proteína e dos indicadores higiênico-sanitários. Dias e Antes (2014) recomendam que o produtor mantenha registros desses resultados ao longo do tempo, o que permite identificar quedas associadas à dieta ou à sanidade do rebanho e corrigir o manejo antes que o prejuízo se acumule.

A integridade da membrana do glóbulo de gordura tem ainda outra consequência. Walstra, Wouters e Geurts (2006) explicam que essa membrana protege os triglicerídeos da ação das lipases, e que agitação excessiva, bombeamento inadequado ou formação de espuma podem danificá-la, favorecendo a lipólise e o surgimento de sabor rançoso. Cuidar da gordura não se resume a medir o teor, mas inclui preservar sua estrutura desde a ordenha até o processamento.

A classificação do leite pasteurizado depende diretamente desse controle. Pela Instrução Normativa nº 76 (Brasil, 2018a), o leite integral deve conter no mínimo 3,0 g de gordura por 100 g, o semidesnatado entre 0,6 e 2,9 g/100 g e o desnatado no máximo 0,5 g/100 g. Sem uma determinação confiável do teor de gordura da matéria-prima, a indústria não consegue padronizar o produto dentro dessas faixas e arrisca autuações por rotulagem incorreta.

Principal carboidrato do leite dos mamíferos, a lactose é sintetizada nas células da glândula mamária e está ligada ao equilíbrio osmótico que regula a passagem de água para a secreção láctea. Costa et al. (2019) ressaltam que, além do valor energético, esse açúcar tem papel determinante no volume de leite produzido.

Os teores de lactose variam com as condições fisiológicas e sanitárias dos animais. Conforme Costa et al. (2019), a saúde da glândula mamária e o metabolismo energético da vaca estão entre os fatores associados à síntese e à concentração desse componente, de modo que seus teores fornecem informações complementares sobre o rebanho.

Na indústria, a lactose atua como substrato para microrganismos fermentadores, que a convertem em ácido lático durante a produção de iogurtes, leites fermentados e queijos (Costa et al., 2019). Sua presença interessa tanto à composição do leite quanto às transformações que ocorrem no processamento.

No Brasil, a legislação estabelece teor mínimo de lactose anidra de 4,3 g por 100 g para o leite cru refrigerado, critério que auxilia na verificação da conformidade da composição com os padrões oficiais (Brasil, 2018a). Mesmo com esse critério, Müller e Rempel (2021) lembram que nenhum componente isolado define a qualidade do leite, e a lactose precisa ser interpretada com os demais resultados.

Integrada às análises físico-químicas de rotina, a determinação da lactose, associada à avaliação de proteínas, gordura e sólidos totais, favorece uma interpretação mais completa da aptidão do leite ao processamento industrial (Brito et al., 2021b).

É justamente a estabilidade da lactose o que a torna um bom indicador. Dias e Antes (2014) observam que, ao contrário da proteína e da gordura, a lactose é pouco afetada pela alimentação; como ela regula o volume de água secretado, sua concentração tende a permanecer relativamente constante em animais saudáveis.

Quando a glândula mamária está inflamada, esse equilíbrio se rompe. Costa et al. (2019) discutem a associação negativa entre o teor de lactose e a contagem de células somáticas, de modo que reduções persistentes de lactose podem sinalizar mastite subclínica no rebanho. Na prática, um produtor que observa queda de lactose no laudo mensal tem um motivo concreto para revisar seu programa de controle da mastite.

A lactose também pode sugerir adulteração. Segundo Brito et al. (2021b), uma redução substancial da concentração de lactose ou dos sólidos totais pode levantar suspeita de adição fraudulenta de água após a ordenha. O raciocínio é direto: como o componente é estável, uma diluição o afeta de maneira proporcional e visível.

Existe ainda uma ligação física com a crioscopia. A lactose e os sais minerais dissolvidos são os principais responsáveis por baixar o ponto de congelamento do leite em relação ao da água (Brito et al., 2021d). Quando a lactose cai por mastite, outros solutos, como os cloretos, tendem a compensar parte dessa variação, mas a adição de água dilui todos ao mesmo tempo, e é essa diferença que ajuda o analista a diferenciar uma provável alteração sanitária de uma possível aguagem, hipótese que ainda depende de outros exames para ser confirmada.

Em termos tecnológicos, Costa et al. (2019) apontam que a lactose ganhou interesse renovado com o mercado de produtos com baixo teor ou isentos desse açúcar, que exigem hidrólise enzimática ou remoção por filtração. Conhecer o teor de lactose da matéria-prima, diante desse cenário, deixou de ser apenas exigência legal e passou a ser informação de planejamento industrial.

A importância quantitativa da lactose também chama atenção. Segundo Brito et al. (2021b), ela representa aproximadamente 52% dos sólidos totais do leite desnatado e cerca de 70% dos sólidos encontrados no soro. Esse dado ajuda a explicar por que o soro, antes tratado como resíduo da fabricação de queijos, passou a ser aproveitado como matéria-prima para bebidas lácteas e ingredientes, e por que a lactose influencia tanto o rendimento quanto o impacto ambiental de um laticínio.

As proteínas são componentes fundamentais do leite bovino, com peso no valor nutricional e nas propriedades tecnológicas dos derivados. Sua composição envolve diferentes

frações, com destaque para as caseínas e as proteínas do soro, cada qual com estrutura e funções próprias (Greenwood; Honan, 2019).

As caseínas formam a principal fração proteica e organizam-se em micelas que interagem com cálcio e fosfato. Essa organização influencia as propriedades físicas do leite e é decisiva na fabricação de queijos, por interferir na coagulação e na formação da massa; as proteínas do soro, como a β-lactoglobulina e a α-lactalbumina, respondem de outra maneira ao tratamento térmico (Carter et al., 2021).

Genética, estágio de lactação, alimentação e saúde da glândula mamária influenciam a concentração e o perfil das proteínas do leite (Greenwood; Honan, 2019). A avaliação desse componente auxilia, consequentemente, na caracterização da matéria-prima e na compreensão das diferenças observadas entre amostras.

No controle de qualidade, a Instrução Normativa nº 76, de 26 de novembro de 2018, estabelece teor mínimo de proteína total de 2,9 g por 100 g para o leite cru refrigerado, parâmetro que deve ser interpretado junto com gordura, lactose e sólidos totais (Brasil, 2018a).

Na produção de queijos, a quantidade e as propriedades das caseínas estão diretamente ligadas à formação da coalhada e ao aproveitamento dos constituintes do leite (Carter et al., 2021). Conhecer o teor proteico, sob tal enfoque, ajuda a obter produtos mais uniformes e a prever o rendimento.

A análise das proteínas integra, desse modo, a avaliação da composição do leite e complementa os demais parâmetros, contribuindo para verificar a conformidade do produto e sua aptidão para diferentes derivados (Diniz Neto, 2024).

Os métodos tradicionais de determinação de proteína são o de Kjeldahl e o micro-Kjeldahl, que quantificam o nitrogênio da amostra e o convertem em proteína por meio de um fator (Brito et al., 2021c). Embora precisos, são trabalhosos, e a rotina acabou migrando para os analisadores por infravermelho, capazes de entregar o resultado de proteína junto com os de gordura, lactose e sólidos em poucos minutos.

Os valores de referência ajudam a dimensionar a margem existente. Dias e Antes (2014) apontam média em torno de 3,25% de proteína no leite cru, acima do mínimo legal de 2,9 g/100 g, e destacam que a alimentação é o fator de maior efeito sobre esse componente, ao contrário do que acontece com a lactose.

O teor de proteína total, contudo, diz pouco sobre a composição fina dessa fração. Greenwood e Honan (2019) mostram que as técnicas proteômicas permitiram identificar um

número muito maior de proteínas no leite bovino do que se conhecia, incluindo componentes minoritários ligados à defesa imunológica e ao metabolismo da glândula mamária, informação que abre caminho para indicadores de saúde do rebanho mais sensíveis do que os atuais.

No plano industrial, a separação das frações proteicas virou negócio. Carter et al. (2021) descrevem como a microfiltração do leite desnatado permite obter, de um lado, concentrados de caseína micelar e, de outro, proteínas do soro nativas, ingredientes de alto valor usados em bebidas proteicas e aliment os funcionais. Quanto maior e mais estável o teor de caseína da matéria-prima, maior o rendimento desses processos.

É também no queijo que a proteína mais pesa no bolso. Como a caseína forma a estrutura da coalhada e retém parte da gordura, o rendimento queijeiro acompanha de perto o teor proteico do leite (Walstra; Wouters; Geurts, 2006). Não por acaso, muitos programas de pagamento por qualidade valorizam o teor de proteína, transformando um resultado laboratorial em diferença concreta na renda do produtor.

As variações fisiológicas também se refletem na fração proteica. No colostro, o conteúdo de proteína é bem maior do que no leite maduro, enquanto a lactose aparece reduzida, conforme Brito et al. (2021b). Um leite de tanque com proteína atipicamente elevada e lactose baixa pode indicar presença de colostro, situação que altera a estabilidade térmica e prejudica o processamento, mesmo sem qualquer intenção de fraude por parte do produtor.

As ferramentas proteômicas também ampliam a compreensão dos efeitos do manejo. Greenwood e Honan (2019) destacam que a caracterização detalhada do perfil proteico permite investigar como nutrição, estágio de lactação e saúde da glândula mamária modificam a composição do leite, conhecimento que pode, no futuro, gerar indicadores mais precisos para o diagnóstico precoce de problemas no rebanho e para a seleção de animais.

A crioscopia está relacionada à temperatura em que o leite começa a congelar. Conforme Brito et al. (2021d), as substâncias naturalmente dissolvidas no leite, principalmente a lactose e os sais minerais, fazem com que seu ponto de congelamento seja inferior ao da água, propriedade que pode ser explorada no controle da qualidade da matéria-prima.

Quando entra água na composição do leite, a concentração dos solutos diminui e o ponto de congelamento se aproxima gradualmente de o °C. Por esse motivo, a determinação do índice crioscópico é empregada para verificar alterações na composição e, em especial, para investigar a possível adição de água (Brito et al., 2021d).

Para o leite cru refrigerado, a Instrução Normativa nº 76 (Brasil, 2018a) determina que o índice crioscópico permaneça na faixa de -0,530 °H a -0,555 °H, valores expressos em graus Hortvet, o que equivale aproximadamente a -0,512 °C a -0,536 °C.

Embora importante, o resultado deve ser avaliado com outras características do leite. Brito et al. (2021d) apontam que estação do ano, idade, estado de saúde e raça das vacas, acesso à água, alimentação, temperatura ambiente e horário da ordenha podem alterar a concentração de alguns constituintes, ainda que, no leite de conjunto, essas diferenças não cheguem a modificar de forma relevante o ponto de congelamento.

O exame é realizado com um crioscópio, equipamento que determina com precisão a temperatura de congelamento da amostra, e sua aplicação mais usual nos laticínios é a investigação da adição de água (Brito et al., 2021d; Dias; Antes, 2014). Mesmo nesse uso, um resultado alterado constitui indício a ser investigado, e não prova de fraude.

Com isso, a crioscopia passa a compor o conjunto de análises físico-químicas do controle de qualidade, e sua associação com outros parâmetros permite verificar se a matéria-prima apresenta condições compatíveis com os padrões estabelecidos (Brasil, 2018a).

Uma primeira dificuldade da crioscopia é de ordem prática: as unidades. Dias e Antes (2014) lembram que a escala Hortvet, usada na legislação, difere da escala Celsius, sendo necessário aplicar um fator de conversão (°C = 0,9656 × °H) para comparar resultados de equipamentos e normas distintos. Ao relatar faixas do regulamento anterior, os autores registram limites de -0,530 a -0,550 °H, equivalentes a -0,512 a -0,531 °C, o que ajuda a entender por que valores antigos e atuais nem sempre coincidem na literatura.

O grande trunfo do método é sua sensibilidade. A densidade, outro indicador clássico de aguagem, só se altera de maneira clara quando mais de 5% a 10% de água são adicionados, segundo Brito et al. (2021e), e pode ser facilmente corrigida pelo fraudador. Dias e Antes (2014) chamam atenção para o uso de reconstituintes, como açúcar, sal, amido e dextrinas, adicionados justamente para restaurar a densidade do leite diluído, manobra que mascara o resultado de um teste, mas não engana a crioscopia com a mesma facilidade.

Há, contudo, armadilhas. Substâncias que elevam a concentração de solutos, como sal e açúcar, também deslocam o ponto de congelamento para valores mais negativos e podem esconder parte da água adicionada. O caso relatado por Carvalho et al. (2019), em que uma amostra de leite cru apresentou teste de cloretos positivo, mostra como a diluição pode vir acompanhada de reconstituição, embora os próprios autores lembrem que a mastite também

pode tornar esse teste positivo. A situação exige do laboratório uma bateria de testes complementares, e não apenas um número.

Fatores não fraudulentos também interferem. Leite de animais com mastite, acesso restrito à água, falhas na coleta e amostras mal conservadas podem produzir desvios, e Brito et al. (2021d) ponderam que o ponto de congelamento de um conjunto de animais tende ao valor médio da espécie, motivo pelo qual a crioscopia funciona melhor no leite de tanque do que em amostras individuais. Uma leitura fora da faixa, isolada, não basta para caracterizar fraude: ela sinaliza a necessidade de repetir a análise e de investigar as possíveis causas antes de qualquer conclusão (Teixeira et al., 2018).

Também a tecnologia avançou. Os laboratórios modernos utilizam crioscópios eletrônicos, que fornecem o resultado de forma rápida e com boa repetibilidade, permitindo análises diárias no recebimento (Dias; Antes, 2014). Somado à coleta correta de amostras, que Teixeira et al. (2018) tratam como etapa crítica nos tanques coletivos, esse controle desestimula a fraude e protege o produtor honesto, que de outra forma veria seu leite misturado ao de terceiros sem qualquer garantia.

A comparação com a densidade ajuda a dimensionar essa vantagem. Brito et al. (2021e) indicam que a densidade do leite é, em média, de 1,032 g/mL, podendo variar entre 1,023 e 1,040 g/mL, e que depende tanto do conteúdo de gordura quanto dos sólidos não gordurosos. A faixa legal de 1,028 a 1,034 g/mL a 15 °C, mencionada por Dias e Antes (2014), acomoda variações naturais amplas, o que torna a densidade um indicador pouco específico; a crioscopia, ao contrário, opera em uma faixa estreita e reage a diluições bem menores.

Na rotina da indústria, o resultado crioscópico costuma ser lido ao lado de outros indicadores de diluição, como os sólidos não gordurosos e a lactose. Quando os três apontam na mesma direção, a suspeita de aguagem ganha consistência; quando apenas um se desvia, o mais prudente é repetir a análise e investigar causas sanitárias ou falhas de amostragem antes de qualquer penalização ao produtor (Brito et al., 2021b; Dias; Antes, 2014).

A comparação entre normas sucessivas também é instrutiva. Enquanto a faixa descrita por Dias e Antes (2014), referente à Instrução Normativa nº 62, ia de -0,530 °H a -0,550 °H, a Instrução Normativa nº 76 (Brasil, 2018a) passou a admitir valores até -0,555 °H. A ampliação do limite inferior reconhece que leites com maior concentração natural de solutos existem e não devem ser confundidos com produto adulterado, enquanto o limite superior, cuja ultrapassagem pode sugerir adição de água, permaneceu inalterado.

Embora seja composto majoritariamente por água, o leite contém diversos componentes que permanecem quando ela é removida. Essa fração recebe o nome de sólidos totais e reúne gordura, proteínas, lactose e minerais, componentes relevantes tanto para o valor nutricional quanto para o comportamento do produto no processamento (Brito et al., 2021b).

Os teores de sólidos totais variam entre animais e ao longo da lactação, além de dependerem do rebanho e do sistema de produção. Ledur et al. (2020), com dados coletados entre 2005 e 2007, registraram diferenças entre rotas de coleta e estações do ano, o que reforça a influência de alimentação, manejo, volume produzido e condições ambientais sobre esse parâmetro.

Como reúne os principais componentes do leite, o resultado de sólidos totais reflete mudanças na quantidade de gordura, proteína ou lactose. Avaliar esse conjunto permite acompanhar de forma mais ampla as características da matéria-prima e suas possíveis variações (Brito et al., 2021b).

Outra contribuição da determinação dos sólidos totais está na identificação de alterações. Quando há adição de água, os componentes ficam diluídos e a concentração de sólidos diminui, de modo que uma redução significativa desse parâmetro serve de alerta para que o leite seja investigado por outras análises (Brito et al., 2021b).

Há ainda relação direta com o aproveitamento industrial. Quanto maior a presença de componentes como gordura e proteína, maior pode ser o rendimento de determinados derivados, e Dias e Antes (2014) destacam que os sólidos são usados justamente para prever o rendimento na fabricação de queijos e outros produtos lácteos.

Para o leite cru refrigerado, a Instrução Normativa nº 76 (Brasil, 2018a) exige pelo menos 11,4 g de sólidos totais para cada 100 g de leite, critério que integra a avaliação físico-química da conformidade da matéria-prima.

Quando interpretada junto com gordura, proteína, lactose e sólidos não gordurosos, a análise dos sólidos totais oferece uma avaliação mais completa da qualidade e da adequação do leite ao processamento (Ledur et al., 2020; Brasil, 2018a).

Os sólidos totais costumam ser desdobrados em duas frações. Dias e Antes (2014) explicam que, subtraindo-se a gordura dos sólidos totais, obtém-se o extrato seco desengordurado, ou sólidos não gordurosos, para o qual a legislação exige mínimo de 8,4 g/100 g. Essa separação é útil porque a gordura pode ser retirada ou ajustada com relativa facilidade,

enquanto proteínas, lactose e minerais são mais difíceis de manipular, e uma queda nos sólidos não gordurosos costuma ser mais suspeita.

Nem toda indústria dispõe de analisadores sofisticados, e Dias e Antes (2014) registram que é comum estimar os sólidos totais a partir da densidade e do teor de gordura, por meio da fórmula de Fleischmann ou do disco de Ackermann. São métodos indiretos, que dependem da exatidão das medidas de origem, mas que mantêm o controle viável em pequenos laticínios.

Dados regionais ajudam a dimensionar a questão, ainda que com ressalvas temporais. Ledur et al. (2020) analisaram 1.512 amostras de tanques de 56 produtores de Roque Gonzales, no Rio Grande do Sul, coletadas entre 2005 e 2007, sob a vigência da Instrução Normativa nº 51, e encontraram medianas sazonais de sólidos totais entre 11,86% e 12,10%. Naquele período, 15,34% dos produtores ficaram abaixo do mínimo de 11,4% então exigido. Por se tratar de um retrato de quase duas décadas atrás, esses números não podem ser tomados como diagnóstico do cenário atual; servem como exemplo histórico da variabilidade entre produtores.

Os mesmos autores comparam esses resultados aos das regiões leiteiras tradicionais, que frequentemente superam 13% de sólidos totais, e defendem que elevar esse teor é condição para a competitividade no mercado internacional (Ledur et al., 2020). A diferença de um ou dois pontos percentuais pode parecer pequena, mas, multiplicada por milhares de litros, representa toneladas de queijo a mais ou a menos.

A variação sazonal documentada no estudo reforça a importância de interpretar o resultado no contexto da propriedade. Melhorias na alimentação, no conforto térmico e na sanidade do rebanho tendem a refletir nos sólidos, e Milani et al. (2016) mostram que sistema de produção e estação climática afetam de forma conjunta os indicadores de qualidade do leite, o que transforma o laudo de sólidos totais em ferramenta de gestão, e não apenas de fiscalização.

Os métodos indiretos guardam uma relação estreita com a densidade. Como explicam Brito et al. (2021e), a gordura reduz a densidade do leite, enquanto os sólidos não gordurosos a elevam, de modo que, conhecendo a densidade e o teor de gordura, é possível estimar a quantidade de sólidos presente. A precisão dessa estimativa, no entanto, depende da correção da temperatura e da calibração dos instrumentos, detalhes que fazem diferença quando o resultado define o pagamento ou a aceitação do leite.

Para o laticínio, a consequência mais direta está no rendimento. Dias e Antes (2014) lembram que os sólidos totais servem para prever o rendimento na fabricação de queijos e outros derivados, e Ledur et al. (2020) relacionam o aumento desse parâmetro à competitividade da

cadeia. Uma bacia leiteira com sólidos baixos obriga a indústria a processar mais litros para obter a mesma quantidade de produto, custo que, cedo ou tarde, retorna ao produtor na forma de preços menores.

Os próprios limites legais guardam uma coerência interna que vale observar. A Instrução Normativa nº 76 (Brasil, 2018a) exige no mínimo 3,0 g de gordura e 8,4 g de sólidos não gordurosos por 100 g de leite, valores que, somados, resultam exatamente nos 11,4 g de sólidos totais estabelecidos como mínimo. Um leite pode atingir o total exigido com gordura elevada e sólidos não gordurosos baixos, situação que só se revela quando as frações são analisadas separadamente.

Os números de Roque Gonzales ganham outra dimensão quando comparados às referências técnicas. Dias e Antes (2014) indicam que os sólidos totais do leite giram, em geral, entre 12% e 13%, faixa acima das medianas encontradas por Ledur et al. (2020). A diferença sugere que, naquele período, parte dos rebanhos operava abaixo de seu potencial; somente estudos recentes, conduzidos sob a Instrução Normativa nº 76, permitiriam verificar se essa situação persiste.

A fosfatase alcalina é uma enzima naturalmente presente no leite bovino e tem papel central na avaliação da pasteurização. Rankin et al. (2010) explicam que sua atividade é sensível ao aquecimento, sendo reduzida ou eliminada quando o leite é submetido a condições adequadas de tempo e temperatura, característica que a consagrou como indicador da eficiência do tratamento térmico.

Testes laboratoriais específicos detectam a atividade dessa enzima na amostra. Resultado negativo no leite pasteurizado é compatível com tratamento térmico adequado, mas a interpretação deve considerar o método analítico empregado e as condições de processamento, pois a prova enzimática não substitui os demais controles sanitários e microbiológicos (Rankin et al., 2010).

Atividade de fosfatase no leite após a pasteurização pode decorrer de aquecimento insuficiente ou de contaminação com leite cru depois do tratamento. Diante de um resultado positivo, Rankin et al. (2010) recomendam investigar o funcionamento dos equipamentos, os parâmetros de aquecimento e os cuidados no envase e na manipulação.

No Brasil, o Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal define a pasteurização e seus parâmetros de tempo e temperatura (Brasil, 2017), e a Instrução Normativa nº 76 inclui, entre os requisitos do leite pasteurizado, resultado negativo

na prova da fosfatase (Brasil, 2018a). Esse requisito reforça a importância do acompanhamento laboratorial como parte das medidas de controle das indústrias de laticínios.

A determinação da fosfatase alcalina constitui, desse modo, ferramenta importante para monitorar a pasteurização. Associada ao controle de tempo e temperatura, às boas práticas de fabricação e às análises microbiológicas, ela contribui para a segurança do leite destinado ao consumo humano (Tetra Pak, 2015).

A escolha da fosfatase como indicador não foi casual. Rankin et al. (2010) relatam que a enzima é inativada em condições de tempo e temperatura ligeiramente mais rigorosas do que as necessárias para destruir os patógenos não esporulados mais resistentes ao calor historicamente associados ao leite. Sua ausência é tomada, desse modo, como evidência indireta de que o tratamento atingiu a intensidade necessária, desde que o resultado seja avaliado com os registros do processo e com as possíveis interferências analíticas.

Os métodos evoluíram bastante. Dos antigos testes colorimétricos, baseados na liberação de compostos coloridos a partir de um substrato fosfatado, chegou-se aos ensaios fluorimétricos, mais sensíveis e capazes de detectar pequenas falhas de processamento ou a presença de quantidades reduzidas de leite cru misturadas ao pasteurizado (Rankin et al., 2010). Como referência histórica, a Decisão 91/180/CEE reuniu métodos para essa prova aplicada ao leite tratado termicamente (União Europei a, 1991); o ato foi revogado pelo Regulamento (CE) nº 1664/2006, com efeitos a partir de 1º de maio de 2007, e não constitui legislação vigente (União Europeia, 2006).

Nem todo resultado positivo, porém, significa pasteurização falha. Rankin et al. (2010) discutem o fenômeno da reativação, em que parte da atividade da fosfatase reaparece durante o armazenamento de produtos submetidos a temperaturas elevadas, sobretudo os ricos em gordura. Os autores também mencionam a possibilidade de interferência de fosfatases de origem microbiana, resistentes ao calor, que podem gerar falso positivo e levar à condenação indevida de um lote.

Outra fonte de variação é a espécie animal. Os níveis naturais de fosfatase diferem entre leite de vaca, cabra e ovelha, e um limite pensado para o leite bovino pode não se aplicar diretamente a outras espécies (Rankin et al., 2010). Para laticínios que trabalham com leite de diferentes origens, essa informação tem consequência direta na validação dos processos.

Em termos práticos, a prova da fosfatase é um instrumento de verificação, e não de controle do processo. A garantia da pasteurização depende do registro contínuo de tempo e

temperatura, da manutenção do pasteurizador e da prevenção de contaminações cruzadas no envase (Tetra Pak, 2015); o resultado laboratorial apenas confirma, depois, que essas etapas funcionaram.

Os próprios equipamentos de pasteurização incorporam mecanismos para reduzir o risco de falhas. O manual da Tetra Pak (2015) descreve o uso de válvulas de desvio de fluxo, que retornam o leite ao tanque de equilíbrio sempre que a temperatura de pasteurização não é atingida, além de registradores contínuos de temperatura. A prova da fosfatase, nesse contexto, atua como verificação complementar do funcionamento desses dispositivos, sem substituí-los.

A padronização dos métodos analíticos é outro ponto relevante. A decisão europeia de 1991, hoje revogada e de interesse apenas histórico, reuniu métodos de análise e ensaio para o leite cru e para o leite tratado termicamente, buscando resultados comparáveis entre laboratórios (União Europeia, 1991; 2006). No Brasil, a Instrução Normativa nº 77 determina que as análises sigam os métodos oficiais do Ministério da Agricultura e Pecuária ou outros métodos validados (Brasil, 2018b), referência também adotada por Carvalho et al. (2019) na avaliação físico-química de leites comercializados no Piauí.

A peroxidase, também chamada de lactoperoxidase, é uma enzima naturalmente presente no leite bovino e, quando comparada à fosfatase alcalina, apresenta maior resistência ao calor. Essa diferença permite usar as duas enzimas de forma complementar: nas condições da pasteurização convencional, a fosfatase tende a ser inativada, enquanto a peroxidase geralmente permanece ativa (Tetra Pak, 2015).

Testes específicos verificam a atividade da peroxidase na amostra, e o resultado deve ser interpretado considerando o tratamento térmico aplicado, já que tempos e temperaturas diferentes provocam efeitos distintos sobre a enzima (Tetra Pak, 2015).

No controle de qualidade, as duas provas são lidas em conjunto: no leite pasteurizado, espera-se fosfatase negativa e peroxidase positiva. Essa combinação é compatível com a pasteurização convencional, mas não substitui o monitoramento dos equipamentos nem as análises microbiológicas (Brasil, 2018a).

A legislação brasileira organiza esse controle em dois níveis. O Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal, aprovado pelo Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017, e suas alterações posteriores, define a pasteurização e seus parâmetros de processo (Brasil, 2017), enquanto a Instrução Normativa nº 76 estabelece que o leite pasteurizado apresente prova de fosfatase negativa e de peroxidase positiva (Brasil, 2018a).

Do ponto de vista operacional, a determinação da peroxidase representa um recurso complementar no controle do processamento térmico, contribuindo para a manutenção dos padrões de qualidade quando associada à fosfatase e às boas práticas de fabricação (Brasil, 2018a).

De forma didática, costuma-se dizer que a fosfatase ajuda a verificar se o leite foi aquecido o suficiente e a peroxidase, se ele não foi aquecido em excesso. A imagem é útil, mas simplifica a interpretação, como se discute adiante. O manual da Tetra Pak (2015) indica que a lactoperoxidase é inativada quando o leite é aquecido a cerca de 80 °C por poucos segundos, temperatura acima da usada na pasteurização rápida, o que faz da enzima um marcador da intensidade do tratamento.

Na legislação brasileira, a pasteurização rápida utiliza temperaturas entre 72 °C e 75 °C, mantidas por 15 a 20 segundos (Brasil, 2017). Nessa faixa, espera-se que a fosfatase seja inativada e que a peroxidase permaneça ativa. Um leite pasteurizado com peroxidase negativa sugere que o processo pode ter ultrapassado o binômio tempo e temperatura previsto, hipótese que deve ser verificada nos registros de processamento, já que a norma exige peroxidase positiva para esse produto (Brasil, 2018a).

O superaquecimento não é um problema apenas regulatório. Temperaturas mais altas desnaturam parte das proteínas do soro, alteram o sabor, conferindo o característico gosto de cozido, e reduzem a qualidade sensorial do leite de consumo (Walstra; Wouters; Geurts, 2006). Para a indústria, também representa gasto desnecessário de energia, o que torna a prova da peroxidase uma aliada da eficiência do processo.

Há ainda uma questão de identidade do produto. Na regulamentação europeia, a resposta da peroxidase serviu, historicamente, para distinguir categorias de leite tratado termicamente, e os métodos dessa prova constavam da Decisão 91/180/CEE, revogada com efeitos a partir de 1º de maio de 2007 (União Europeia, 1991; 2006). No Brasil, a lógica permanece: o resultado enzimático auxilia a verificar se o produto rotulado como pasteurizado recebeu um tratamento compatível com essa categoria (Brasil, 2018a).

Lidas em conjunto, as duas enzimas oferecem uma referência útil para a rotina: fosfatase positiva pode sugerir aquecimento insuficiente ou contaminação após o tratamento, e peroxidase negativa pode sugerir aquecimento excessivo. Essa leitura, contudo, não é automática. Rankin et al. (2010) lembram que a reativação da fosfatase e a presença de fosfatases microbianas termorresistentes podem produzir resultados positivos sem falha de pasteurização, e a resposta das enzimas varia com o binômio tempo e temperatura efetivamente aplicado, com

o tipo de produto e com o método analítico. O controle duplo é simples e barato, mas seus resultados precisam ser avaliados à luz do processo e de suas possíveis interferências (Tetra Pak, 2015; Brasil, 2018a).

No leite submetido a tratamentos de ultra-alta temperatura, como o UHT, a situação é diferente. As temperaturas empregadas, muito superiores a 80 °C, inativam tanto a fosfatase quanto a peroxidase (Tetra Pak, 2015), e ambas as provas resultam negativas. Por esse motivo, a combinação fosfatase negativa e peroxidase positiva é característica do leite pasteurizado, e não serve como critério para produtos esterilizados ou UHT, que dependem de outros controles de processo.

A lactoperoxidase não é apenas um marcador analítico. Walstra, Wouters e Geurts (2006) descrevem o sistema lactoperoxidase, formado pela enzima, pelo tiocianato e pelo peróxido de hidrogênio, que exerce ação antimicrobiana natural no leite cru. Preservar a atividade dessa enzima no leite pasteurizado é coerente com a ideia de aplicar o tratamento térmico mínimo necessário para garantir a segurança, sem descaracterizar o produto.

O controle de qualidade do leite reúne procedimentos destinados a verificar se a matéria-prima é adequada ao consumo e à fabricação de derivados. A avaliação começa na propriedade rural e prossegue no transporte, no recebimento, no armazenamento e no processamento, e seus resultados só são confiáveis quando as análises se somam à higiene, à refrigeração e ao cumprimento da legislação (Brasil, 2018a; 2018b).

Do ponto de vista físico-químico, a composição revela características importantes do leite e possíveis alterações em sua constituição. O pH e a acidez auxiliam na investigação de mudanças ligadas à conservação, a gordura, a lactose e as proteínas caracterizam os principais componentes, e os sólidos totais estimam a fração presente além da água; cada análise fornece uma informação específica, o que obriga a interpretá-las em conjunto (Müller; Rempel, 2021).

O índice crioscópico auxilia na investigação da adição de água, mas tampouco deve ser considerado isoladamente. A Instrução Normativa nº 76 (Brasil, 2018a) estabelece requisitos para o leite cru refrigerado que incluem gordura, proteínas, lactose, sólidos totais, acidez e índice crioscópico, formando um painel que deve ser lido como um todo.

Os requisitos da Instrução Normativa nº 76 não permaneceram estáticos. A Instrução Normativa nº 58/2019 alterou disposições sobre a apuração da média geométrica trimestral e a contagem padrão em placas do leite cru refrigerado (Brasil, 2019). Posteriormente, a Instrução Normativa nº 55, em vigor desde 1º de novembro de 2020, alterou as temperaturas de

conservação previstas no regulamento: o leite no posto de refrigeração e na unidade de beneficiamento, antes da pasteurização, passou a ser conservado a 5,0 °C, admitindo-se até 7,0 °C na indústria quando o leite estocado apresentar contagem microbiológica de no máximo 300.000 UFC/mL; o leite pasteurizado e o leite pasteurizado tipo A passaram a ser estocados e expedidos a 5,0 °C, e o inciso I do art. 17 foi revogado (Brasil, 2020). Consultar a norma em sua redação consolidada, e não apenas no texto original de 2018, é condição para interpretar corretamente os requisitos vigentes.

No leite pasteurizado, o controle inclui a eficiência do tratamento térmico, verificada pelas provas da fosfatase alcalina e da peroxidase. Esses testes auxiliam na verificação do processamento, mas dependem do acompanhamento de tempo e temperatura e das condições dos equipamentos (Brasil, 2017; 2018a).

Fora do laboratório, a qualidade depende da higiene dos animais, das instalações, dos utensílios e dos equipamentos, além de refrigeração e transporte adequados. Falhas nas etapas iniciais comprometem a matéria-prima de forma que nenhum processamento posterior consegue corrigir (Mendonça; Guimarães; Brito, 2012).

O controle de qualidade deve ser visto como atividade integrada, que reúne boas práticas de produção, análises físico-químicas, avaliação microbiológica e monitoramento do processamento. A leitura conjunta de pH, acidez, gordura, lactose, proteínas, crioscopia, sólidos totais, fosfatase e peroxidase permite identificar não conformidades e orientar ações corretivas (Dias; Antes, 2014).

Grande parte dos problemas detectados no laboratório nasce na sala de ordenha. Dias e Antes (2014) listam medidas simples e eficazes, como o descarte dos primeiros jatos de leite, a desinfecção dos tetos antes da ordenha, a limpeza criteriosa de baldes, latões e tanques e a realização da prova do alizarol antes de cada coleta, com recusa do leite ácido.

Essas práticas deixaram de ser apenas recomendações técnicas. A Instrução Normativa nº 77 (Brasil, 2018b) definiu as boas práticas agropecuárias como o conjunto de atividades realizadas na propriedade rural para a obtenção de leite de qualidade e seguro ao consumidor, e determinou que cada estabelecimento mantenha, em seu programa de autocontrole, um Plano de Qualificação de Fornecedores de Leite, com diagnóstico, objetivos, metas, indicadores e cronograma. Entre os temas mínimos a serem trabalhados com os produtores estão o manejo sanitário e alimentar, a qualidade da água, a refrigeração, a higiene da ordenha, o controle de

pragas, o uso de produtos químicos e medicamentos, a manutenção dos equipamentos e o bem-estar animal.

A mesma norma traz exigências ligadas diretamente à ordenha. A dependência de ordenha deve permanecer limpa antes, durante e após a obtenção do leite, e os equipamentos devem ser higienizados e mantidos conforme as orientações do fabricante. O rebanho precisa contar com acompanhamento veterinário que inclua o controle sistemático de mastites, e é proibido enviar à indústria leite de fêmeas que não se apresentem clinicamente sãs, que estejam na fase colostral ou no período de carência de medicamentos (Brasil, 2018b).

Merece atenção especial a higienização do equipamento de ordenha. Mendonça, Guimarães e Brito (2012) descrevem uma sequência que combina enxágue inicial para remover os resíduos de leite, limpeza com detergente alcalino para eliminar gordura e proteína, uso periódico de detergente ácido para retirar depósitos minerais e sanitização antes da ordenha seguinte. Cada etapa tem função própria, e pular uma delas abre espaço para a formação de biofilmes que contaminam o leite de forma contínua.

Logo em seguida vem a refrigeração. A Instrução Normativa nº 77 (Brasil, 2018b) exige que o leite seja resfriado na propriedade a temperatura igual ou inferior a 4,0 °C em até três horas, que o intervalo entre coletas não ultrapasse 48 horas e que o leite chegue ao estabelecimento a no máximo 7,0 °C, admitindo-se, excepcionalmente, até 9,0 °C. Dias e Antes (2014) já destacavam essa lógica ao comentar a legislação anterior. O frio não elimina bactérias, mas reduz sua multiplicação, preservando pH, acidez e estabilidade da matéria-prima até o processamento, preocupação reforçada pela Instrução Normativa nº 55 ao fixar a conservação a 5,0 °C no posto de refrigeração e na indústria (Brasil, 2020).

Nos tanques coletivos, comuns entre pequenos produtores, o desafio é maior, pois o leite de várias propriedades é misturado. Teixeira et al. (2018) atribuem responsabilidades específicas a produtores, técnicos, transportadores e coletadores de amostras, como a higienização do tanque, o controle de temperatura e a coleta correta das amostras, lembrando que um único fornecedor com leite de baixa qualidade pode comprometer o volume de todos os demais. A Instrução Normativa nº 77 acrescenta exigências próprias para os tanques comunitários: o leite de cada produtor deve ser entregue em latões identificados logo após a ordenha, submetido ao teste do álcool/alizarol 72% e resfriado a até 4,0 °C em até três horas após ser adicionado ao tanque (Brasil, 2018b).

A norma também prevê consequências para o descumprimento. Quando a média geométrica da contagem padrão em placas de uma propriedade permanece fora do padrão por três meses consecutivos, a coleta é interrompida até que a causa seja identificada, sejam adotadas ações corretivas e um novo resultado dentro do padrão seja apresentado pela Rede Brasileira de Laboratórios de Controle da Qualidade do Leite (Brasil, 2018b). A medida dá às boas práticas de ordenha um peso econômico direto para o produtor.

O controle da mastite fecha esse ciclo. Programas que incluem boas práticas de ordenha, manutenção dos equipamentos, tratamento dos casos clínicos, terapia da vaca seca e descarte de animais cronicamente infectados reduzem a contagem de células somáticas e, com ela, as alterações de pH, lactose e crioscopia discutidas ao longo desta revisão (Dias; Antes, 2014). Ao final, o laudo laboratorial apenas registra o resultado de um trabalho que começou muito antes, no curral.

Os indicadores higiênico-sanitários completam o quadro. A Instrução Normativa nº 76 (Brasil, 2018a) fixa, para o leite cru refrigerado, limites máximos de contagem padrão em placas e de contagem de células somáticas, avaliados por médias geométricas trimestrais, e esses resultados guardam relação direta com os parâmetros discutidos nesta revisão. Leite com alta contagem bacteriana tende a apresentar acidez elevada e pH reduzido, enquanto leite com alta contagem de células somáticas tende a registrar menos lactose e pode apresentar pH mais alcalino, de modo que melhorar a higiene e a sanidade do rebanho repercute em praticamente todos os indicadores físico-químicos (Dias; Antes, 2014).

Ao longo desse percurso, o médico-veterinário tem papel de tradutor entre o laboratório e a propriedade. Dias e Antes (2014) sugerem utilizar os resultados de contagem de células somáticas para identificar vacas infectadas, avaliar a eficácia dos tratamentos e localizar falhas de manejo, raciocínio que pode ser estendido aos demais parâmetros. Um laudo com acidez alta, crioscopia alterada ou sólidos baixos só gera melhoria quando alguém o interpreta, conversa com o produtor e acompanha a correção no campo.

O manual elaborado por Teixeira et al. (2018) chama atenção pela forma como distribui as orientações entre produtores, técnicos, transportadores e coletadores de amostras. A escolha não é casual: a qualidade do leite armazenado em tanque coletivo depende de uma cadeia de pessoas, e basta um elo descuidado, seja na limpeza do tanque, seja no transporte ou na coleta, para que o esforço dos demais se perca.

O destino do leite que não atende aos padrões exige distinções importantes. A Instrução Normativa nº 77 (Brasil, 2018b) proíbe o envio à indústria do leite de fêmeas que não se apresentem clinicamente sãs, o que alcança os casos de mastite clínica, nos quais o leite pode apresentar alterações visíveis, como grumos e mudança de aspecto. A mastite subclínica, por sua vez, não se manifesta por alterações visíveis no leite, mas eleva a contagem de células somáticas e modifica a composição da matéria-prima, sendo controlada pelos limites de contagem de células somáticas do leite de conjunto e pelos programas de controle da mastite (Brasil, 2018a; Dias; Antes, 2014). Situação distinta é a do leite de animais tratados com antimicrobianos: mesmo sem qualquer alteração aparente, ele não pode ser enviado durante o período de carência, pelo risco de resíduos, cuja presença é investigada no recebimento por análises específicas (Brasil, 2018b).

DISCUSSÃO

A literatura analisada converge em um ponto central: nenhum parâmetro, isoladamente, é capaz de definir a qualidade do leite. Müller e Rempel (2021), ao revisarem estudos produzidos no Brasil, encontraram resultados heterogêneos entre regiões e sistemas de produção, e os trabalhos técnicos da Embrapa insistem na leitura conjunta dos testes (Brito et al., 2021a; Dias; Antes, 2014). A revisão reforça essa posição e mostra que o valor real de cada análise aparece quando ela é confrontada com as demais.

O par pH e acidez é o exemplo mais claro dessa complementaridade. Isolado, um pH de 6,5 pode indicar início de fermentação ou simplesmente presença de colostro; quando associado à acidez em graus Dornic e à prova do alizarol, porém, a interpretação se torna muito mais segura (Brito et al., 2021a). O estudo de Carvalho et al. (2019) ilustra a situação: as duas amostras de leite cru com pH de 6,5 também apresentaram acidez acima de 0,18% e instabilidade ao álcool, combinação que dificilmente deixaria dúvida sobre a deterioração microbiana. Chama atenção, contudo, que a Instrução Normativa nº 76 (Brasil, 2018a) não estabeleça faixa de pH para o leite cru refrigerado, o que relega essa medida ao papel de exame complementar, ainda que seu custo seja baixo e sua resposta, imediata.

Em relação aos componentes, a revisão evidenciou que gordura, proteína e lactose não reagem da mesma forma aos fatores de variação. Dias e Antes (2014) indicam que a dieta tem efeito marcante sobre a proteína e quase nenhum sobre a lactose, enquanto a gordura responde a raça, alimentação, estágio de lactação e mastite. Costa et al. (2019) acrescentam que a lactose

acompanha a saúde da glândula mamária. Essa diferença de sensibilidade tem implicação prática relevante: queda de gordura pode refletir apenas ajuste na dieta, ao passo que queda de lactose, componente naturalmente estável, merece investigação, pois pode sugerir tanto problema sanitário quanto diluição.

No campo da investigação de adulterações, os resultados reunidos reforçam a superioridade da crioscopia sobre a densidade. Segundo Brito et al. (2021e), a densidade só se altera de forma evidente quando mais de 5% a 10% de água são adicionados, e Dias e Antes (2014) alertam para o uso de reconstituintes que restauram esse valor. A crioscopia, por trabalhar em faixa estreita, detecta diluições menores, mas também pode ser mascarada pela adição de sal ou açúcar, como sugere o teste de cloretos positivo relatado por Carvalho et al. (2019). A conclusão que se impõe é a de que a investigação de aguagem exige uma bateria de testes, com crioscopia, sólidos não gordurosos, lactose e pesquisa de reconstituintes analisados em conjunto, e que um desvio crioscópico isolado deve ser tratado como indício, e não como prova de fraude, já que falhas de amostragem, conservação inadequada da amostra e condições sanitárias também podem alterar o resultado (Brito et al., 2021d).

Um aspecto pouco discutido, mas que emergiu da comparação entre as fontes, é a defasagem de parte do material técnico em relação à legislação vigente. As páginas da Embrapa ainda mencionam o ponto de congelamento máximo de -0,512 °C e os limites da Instrução Normativa nº 51 (Brito et al., 2021d), e o documento de Dias e Antes (2014) se baseia na Instrução Normativa nº 62, com faixa crioscópica de -0,530 a -0,550 °H. A Instrução Normativa nº 76 (Brasil, 2018a) ampliou o limite inferior para -0,555 °H, mantendo o limite superior. Para estudantes e técnicos, a lição é simples, mas importante: valores de referência devem ser sempre conferidos na norma em vigor, e não em materiais didáticos, por mais confiáveis que sejam. Situação semelhante ocorre com os critérios microbiológicos modificados pela Instrução Normativa nº 58 (Brasil, 2019) e com as temperaturas de conservação alteradas pela Instrução Normativa nº 55 (Brasil, 2020), e com a Decisão 91/180/CEE, ainda citada em textos técnicos, mas revogada desde 2007 (União Europeia, 2006).

Quanto aos sólidos totais, os dados de Ledur et al. (2020) precisam ser lidos com cuidado. Embora o artigo tenha sido publicado em 2020, as 1.512 amostras de tanques analisadas foram coletadas entre 2005 e 2007, sob a Instrução Normativa nº 51; naquele período, 15,34% dos produtores ficaram abaixo do mínimo de 11,4%, e as medianas sazonais, entre 11,86% e 12,10%, permaneceram distantes dos valores superiores a 13% citados pelos autores para regiões leiteiras

tradicionais. Esses números não descrevem o cenário atual e não permitem afirmar que o problema persiste. Seu valor para esta revisão é outro: junto com os achados de Zanela et al. (2006) e Milani et al. (2016), que associaram sistema de produção e estação climática à qualidade do leite, eles ilustram a variabilidade dos sólidos entre propriedades e épocas do ano e sugerem que manejo nutricional e assistência técnica influenciam esse parâmetro. A ausência, no corpus analisado, de estudos recentes sobre sólidos totais conduzidos sob a Instrução Normativa nº 76 constitui, ela própria, uma lacuna a ser preenchida.

O controle do tratamento térmico mostrou-se o ponto em que a literatura é mais consolidada, ainda que exija cautela interpretativa. A combinação de fosfatase alcalina negativa e peroxidase positiva aparece como requisito do leite pasteurizado na legislação brasileira (Brasil, 2018a) e é explicada de forma didática no manual da Tetra Pak (2015): a primeira seria compatível com aquecimento suficiente, e a segunda, com ausência de excesso. A Decisão 91/180/CEE adotava lógica semelhante, mas foi revogada em 2007 e serve hoje apenas como referência histórica (União Europeia, 1991; 2006). Rankin et al. (2010) introduzem nuances importantes, como a reativação da fosfatase em produtos ricos em gordura e a possível interferência de fosfatases microbianas, capazes de gerar falsos positivos. Esses fatores mostram que o laudo enzimático auxilia a verificar o processo, mas precisa ser interpretado conforme o tratamento aplicado e não substitui o registro de tempo e temperatura nem a manutenção do pasteurizador.

Os trabalhos de caráter tecnológico ampliam o significado econômico dos parâmetros. Carter et al. (2021) mostram como a microfiltração permite separar caseína micelar e proteínas do soro, transformando o teor e o perfil proteico em fator de agregação de valor, e Greenwood e Honan (2019) apontam que a proteômica pode, no futuro, oferecer indicadores de saúde do rebanho mais sensíveis do que os atuais. Na mesma direção, Costa et al. (2019) destacam a lactose como alvo do mercado de produtos com baixo teor desse açúcar. Consequentemente, os parâmetros clássicos deixaram de servir apenas à aceitação ou à recusa do leite e passaram a orientar decisões industriais.

Nenhum desses avanços compensa falhas na origem. As publicações voltadas ao produtor são unânimes ao relacionar os desvios laboratoriais às práticas de campo: higienização incompleta do equipamento de ordenha favorece biofilmes e contaminação contínua (Mendonça; Guimarães; Brito, 2012), demora no resfriamento eleva a acidez e reduz o pH (Dias; Antes, 2014), e a gestão inadequada dos tanques coletivos compromete o leite de todos os

fornecedores (Teixeira et al., 2018). Desde a Instrução Normativa nº 77 (Brasil, 2018b), essas práticas integram obrigatoriamente o Plano de Qualificação de Fornecedores de Leite, o que desloca as boas práticas do campo da recomendação para o da exigência regulatória. O Quadro 2 sintetiza a relação entre os parâmetros estudados, seus requisitos legais e as interpretações possíveis para os desvios.

Quadro 2 - Síntese dos parâmetros estudados, requisitos legais e interpretações possíveis dos desvios

Parâmetro	**Requisito ou referência**	**Desvio e interpretação possível (indicativa, não diagnóstica)**
pH	Não fixado na IN 76; referência de 6,6 a 6,8	Abaixo de 6,6: pode sugerir acidificação microbiana ou colostro. Igual ou acima de 6,9: pode estar associado a mastite, final de lactação ou adição de água; confirmar com CCS e avaliação sanitária
Acidez titulável	0,14 a 0,18 g de ácido lático/100 mL (14 a 18 °D)	Elevada: sugere multiplicação bacteriana. Reduzida: pode sugerir leite alcalino ou diluição
Gordura	Mínimo de 3,0 g/100 g	Reduzida: pode refletir dieta, estágio de lactação, mastite ou desnate
Proteína total	Mínimo de 2,9 g/100 g	Reduzida: pode refletir deficiência nutricional. Elevada com lactose baixa: pode sugerir presença de colostro
Lactose anidra	Mínimo de 4,3 g/100 g	Reduzida: pode sugerir mastite ou adição de água
Índice crioscópico	-0,530 °H a -0,555 °H	Acima de -0,530 °H: pode sugerir adição de água; requer repetição, outros indicadores e verificação da amostragem
Sólidos totais e sólidos não gordurosos	Mínimo de 11,4 g/100 g (ST) e 8,4 g/100 g (SNG)	Reduzidos: podem sugerir diluição, deficiência nutricional ou variação sazonal
Fosfatase alcalina (leite pasteurizado)	Negativa	Positiva: pode sugerir aquecimento insuficiente ou contaminação após o tratamento; considerar reativação e fosfatases microbianas
Peroxidase (leite pasteurizado)	Positiva	Negativa: pode sugerir aquecimento acima do previsto; verificar registros do processo

Fonte: elaborado pela autora (2026) com base em BRASIL (2017; 2018a; 2018b; 2020), BRITO et al. (2021a), DIAS e ANTES (2014) e COSTA et al. (2019).

Do ponto de vista da atuação profissional, a revisão evidencia o papel do médico-veterinário como elo entre o laboratório e a propriedade. Um laudo com acidez elevada, lactose reduzida ou crioscopia alterada só se converte em melhoria quando alguém o interpreta, identifica a causa provável e orienta o produtor, raciocínio que Dias e Antes (2014) aplicam ao uso dos resultados de contagem de células somáticas e que pode ser estendido a todos os parâmetros discutidos. O alcance dessa atuação vai além do leite comercializado, chegando até

o destino do leite de descarte na própria fazenda, como mostra o estudo de Diniz Neto (2024) sobre seu uso na alimentação de bezerros.

Cabe reconhecer, por fim, as limitações deste trabalho. Por se tratar de revisão narrativa, a seleção das fontes não seguiu protocolo sistemático, o que pode ter deixado de fora estudos relevantes (Rother, 2007). Parte dos estudos empíricos analisados apresenta abrangência regional, como os realizados em Paulistana e Roque Gonzales, e utiliza amostras pequenas ou dados coletados há quase duas décadas, e alguns materiais técnicos ainda refletem legislações anteriores. Essas limitações não invalidam as conclusões, mas indicam a necessidade de estudos atualizados, com amostragens maiores e diferentes regiões do país, que avaliem a conformidade do leite brasileiro aos parâmetros da Instrução Normativa nº 76.

CONCLUSÃO

A revisão bibliográfica realizada mostrou que o controle de qualidade do leite depende da avaliação de diferentes características que, em conjunto, revelam a composição da matéria-prima e suas condições de conservação e processamento. Cada parâmetro estudado tem função específica e contribui para identificar alterações capazes de comprometer o produto e seu aproveitamento na indústria de laticínios.

O pH e a acidez fornecem informações sobre o estado de conservação do leite e ganham força quando lidos em conjunto e acompanhados da prova do alizarol, permitindo levantar hipóteses sobre acidificação microbiana, presença de colostro ou leite alcalino; valores alcalinos podem estar associados à mastite, mas esse diagnóstico depende da contagem de células somáticas e da avaliação sanitária do rebanho. A gordura, a lactose, as proteínas e os sólidos totais caracterizam o valor nutricional e tecnológico da matéria-prima, com reflexo direto no rendimento dos derivados, enquanto a crioscopia se destaca como o método mais sensível para investigar a possível adição de água, desde que seus resultados sejam interpretados com outros indicadores e com as condições de coleta e conservação da amostra.

No tratamento térmico, a fosfatase alcalina e a peroxidase formam um controle complementar: a fosfatase negativa é compatível com aquecimento suficiente, e a peroxidase positiva, com ausência de aquecimento excessivo. Essa leitura, embora didática, simplifica a interpretação, pois os resultados dependem do processo aplicado, do método analítico e de interferências como a reativação enzimática e as fosfatases de origem microbiana, e não substituem o monitoramento de tempo e temperatura nem a manutenção dos equipamentos.

Paralelamente às análises laboratoriais, os cuidados adotados da ordenha ao processamento são indispensáveis. A higiene, a higienização correta dos equipamentos, a refrigeração rápida, a gestão dos tanques coletivos e o controle da mastite, hoje organizados no Plano de Qualificação de Fornecedores de Leite exigido pela Instrução Normativa nº 77, reduzem os riscos de contaminação e evitam alterações que nenhum processamento posterior consegue corrigir. A consulta à legislação em sua redação atual, incluindo as alterações da Instrução Normativa nº 55 sobre temperaturas de conservação, completa esse quadro.

Conclui-se que o controle de qualidade do leite exige uma abordagem integrada, na qual os resultados laboratoriais sejam interpretados à luz das condições de produção, conservação e processamento. O domínio desses parâmetros é importante para a atuação do médico-veterinário e dos profissionais da indústria de laticínios, pois permite identificar não conformidades, orientar produtores e adotar medidas que garantam uma matéria-prima e produtos finais seguros e de qualidade.

REFERÊNCIAS

1. BRASIL. Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017. Regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, isso dispõem Sobre a inspeção Industrial e sanitária de produtos de origem animal. Diário Oficial da União, 2017; seção 1, 30 Mar.

2. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Regulamentos nº 76, de 26 de novembro de 2018. Aprova os Regulamentos Técnicos isso fixam a identidade e como Características de qualidade isso devem apresentar o leite raw refrigerado, o leite Pasteurizado e o leite Pasteurizado Tipo A. Diário Oficial da União, 2018a; seção 1, 30 Nov.

3. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 77, de 26 de novembro de 2018. Estabelece os critérios e procedimentos para a produção, acondicionamento, conservação, transporte, seleção e recepção do leite cru em estabelecimentos Registrado Não serviço de inspeção oficial. Diário Oficial da União, 2018b; seção 1, 30 Nov.

4. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 58, de 6 de novembro de 2019. Altera a Instrução Normativa nº 76, de 26 de novembro de 2018. Diário Oficial da União, 2019; seção 1, 7 Nov.

5. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 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, 2020; 189: 9.

6. BRITO MA, et al. Acidez titulável. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2021a.

7. BRITO MA, et al. Composição. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2021b.

8. BRITO MAS, e outros. Composição do leite. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2021c.

9. BRITO MA, et al. Crioscopia. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2021d.

10. BRITO MA, et al. Densidade relativo. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2021e.

11. BRITO MA, et al. pH do leite. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2021f.

12. CARTER BG, et al. Revisão por convite: proteínas de caseína e soro de leite derivadas da microfiltração. Journal of Dairy Science, 2021; 104(3): 2465

13. CARVALHO TN, et al. Análise físico-química de amostras de leites bovinos crus in natura e UHT comercializados em Paulistana, Piauí. Brazilian Journal of Food Research, 2019; 10(3): 77-86.

14. COSTA A, et al. Revisão por convite: lactose do leite: status atual e desafios futuros em gado leiteiro.Journal of Dairy Science, 201

15. DIAS JA, ANTES FG. Qualidade físico-química, higiênico-sanitária e composicional do leite cru: indicadores e aplicações práticas da Instrução Normativa 62. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2014; 19 p. (Documentos, 158).

16. DINIZ NETO HC. Leite comercializável, leite de Descartar Pasteurizado ou não em Dieta de bezerros leiteiros. Tese (Doutorado em Criação de animais) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2024.

17. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FA

18. GIL AC. Como elaborar projetos de pesquisa. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2022.

19. GREENWOOD SL, HONAN MC. Revisão do simpósio: caracterização do perfil proteico do leite bovino usando técnicas proteômicas. Journal of Dairy Ciência,

20. LEDUR MC, et al. Sólidos totais do leite em amostras de tanques no município de Roque Gonzales-RS. Ciência e Natureza, 2020; 42: E11.

21. MENDONÇA LC, et al. Higienização do equipamento de ordenha mecânica. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2012; 2 p. (Comunicado Técnico, 64).

22. MILANI MP, et al. Qualidade do leite em diferentes sistemas de produção, ano e estação climática. Revista Brasileira de Ciência Veterinária, 2016; 23(3-4): 206-211.

23. MÜLLER T, REMPEL C. Qualidade do leite bovino produzido no Brasil: parâmetros físico-químicos e microbiológicos: uma revisão integrativa. Vigilância Sanitária em Debate, 2021; 9(3): 122-129.

24. RANKIN SA, et al. Revisão convidada: a aplicação de ensaios de fosfatase alcalina para validação da pasteurização de produtos lácteos .Journal of Dairy Science, 2010; 93(12): 5538-5551.

25. ROTHER ET. Revisão sistemática X revisão narrativa. Ata Paulista de Enfermagem, 2007; 20(2): V-Vi.

26. TEIXEIRA SR, et al. Manual de manutenção da qualidade do leite cru refrigerado armazenado em tanques coletivos para produtores, Técnicos, transportadores e Tranças de amostras de leite. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2018; 25 p. (Documentos, 213).

27. TETRA PAK. Manual de processamento de laticínios. Lund: Tetra Pak Processing Systems AB, 2015.

28. UNIÃO EUROPEIA. Comissão Europeia. Decisão da Comissão de 14 de fevereiro de 1991 estabelecendo certos métodos de análise e teste do leite cru e do leite tratado termicamente (91/180/CEE). Jornal Oficial das Comunidades Europeias, 1991; L 93, 13 abr. Referência histórica, revogada pelo Regulamento (CE) nº 1664/2006.

29. UNIÃO EUROPEIA. Comissão Europeia. Regulamento (CE) nº 1664/2006 da Comissão, de 6 de novembro de 2006, que altera o Regulamento (CE) nº 2074/2005 no que respeita às medidas de execução relativas a determinados produtos de origem animal destinados ao consumo humano e que revoga determinadas medidas de execução. Jornal Oficial da União Europeia, 2006; L 320: 13-45.

30. WALSTRA P, et al. Ciência e tecnologia de laticínios . 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2006.

31. ZANELA MB, et al. Qualidade do leite em sistemas de produção na região Sul do Rio Grande do Sul. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2006; 41(1): 153-159.