Resumo nº 32

IDENTIFICAÇÃO DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS EM AMOSTRAS DE LEITE BOVINO: UMA REVISÃO DA LITERATURA

Thiago Gobbi de Farias[1], Lucas Ávila do Nascimento[2], Gabriel Emiliano Motta[2], Ana Paula Spezia Darif[2], Luiz Jardel Visioli[3], Heveline Enzweiler[4]

1 Bolsista IC/UDESC/CEO

2 Estudante UDESC/CEO

3. Professor UDESC/Oeste

4 Professora Coordenadora do projeto UDESC/CEO

INTRODUÇÃO

O leite bovino é um alimento de ampla relevância nutricional, pois fornece proteínas, lipídios, carboidratos, vitaminas e minerais importantes à dieta. Entretanto, essa matriz também pode veicular elementos potencialmente tóxicos provenientes de fontes ambientais ou introduzidos ao longo da cadeia produtiva (Figura 1). Entre os analitos mais investigados encontram-se chumbo (Pb), cádmio (Cd), arsênio (As) e mercúrio (Hg), enquanto cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), níquel (Ni), alumínio (Al) e cromo (Cr) requerem interpretação dependente da concentração, da função biológica e do contexto de exposição (BOUDEBBOUZ et al., 2021; SHARMA et al., 2024).

A expressão “metais pesados”, embora recorrente, não possui definição científica padronizada e pode agrupar inadequadamente metais, metaloides e não metais. Recomenda-se, portanto, identificar cada analito ou empregar a denominação elementos potencialmente tóxicos (EPT), considerando que a toxicidade depende da espécie química, da concentração e da exposição, e não apenas de propriedades como densidade ou massa atômica (POURRET; HURSTHOUSE, 2019). Esses elementos podem alcançar o leite por transferência a partir do solo, da água, da pastagem e da ração, bem como por contaminação relacionada à produção, ao transporte, ao processamento ou à embalagem (HASANVAND et al., 2024; SHARMA et al., 2024).

Estudos conduzidos em diferentes países demonstram ampla variabilidade nas concentrações relatadas, associada ao ambiente local, ao grau de industrialização, ao tipo de leite, ao delineamento amostral e ao desempenho dos métodos analíticos. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi reunir evidências sobre a ocorrência de EPT em leite bovino e discutir os requisitos para sua identificação e quantificação, com ênfase na espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS).

DESENVOLVIMENTO

Foi realizada uma revisão narrativa de artigos científicos. Foram priorizados estudos sobre leite bovino cru, pasteurizado e UHT; ocorrência de Pb, Cd, As, Hg e outros elementos-traço; fontes de contaminação; preparo de amostras; técnicas espectrométricas; validação analítica; e avaliação de risco. Os resultados foram organizados em quatro eixos: vias de entrada dos elementos na cadeia produtiva, procedimentos analíticos, ocorrência internacional e evidências brasileiras. Em razão da heterogeneidade das matrizes, unidades de medida, limites de detecção, métodos instrumentais e delineamentos amostrais, os valores publicados foram interpretados no contexto de cada estudo, sem produzir uma comparação quantitativa direta entre conjuntos de dados incompatíveis.

Entre as técnicas aplicadas ao leite estão a espectrometria de absorção atômica com chama ou atomização eletrotérmica, a espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado e a ICP-MS (SHARMA et al., 2024). A ICP-MS possibilita determinação multielementar, identificação por razão massa/carga e elevada sensibilidade para elementos-traço, mas seu desempenho depende do controle de efeitos de matriz e interferências espectrais (AMMANN, 2007). Brancos de reagentes e de processo, curvas analíticas adequadas, padrões internos, materiais de referência certificados e ensaios de recuperação são necessários para demonstrar controle da contaminação, exatidão e precisão. Também devem ser avaliados seletividade, linearidade, faixa de trabalho, limites de detecção e quantificação e robustez, conforme evidenciado em aplicações analíticas ao leite (OLIVEIRA et al., 2017; SANTOS et al., 2015). Para interferências poliatômicas, podem ser empregados dispositivos como células de colisão ou reação e instrumentos de alta resolução (AMMANN, 2007).

RESULTADOS

A revisão sistemática de Boudebbouz et al. (2021) reuniu 60 estudos originais publicados desde 2010 sobre a contaminação do leite bovino cru. Os autores identificaram ocorrência de Pb, Cd, Hg, Ni, Fe, Al e Cu em diferentes regiões do mundo e observaram influência do ambiente local e do grau de industrialização. Para Pb, 55 estudos foram examinados: 36 utilizaram espectrometria de absorção atômica, dez empregaram ICP-MS, três ICP-AES e três ICP-OES, além de técnicas menos frequentes. Na avaliação de exposição compilada pela revisão, quocientes de perigo-alvo superiores a um foram relatados para Pb em dez de 70 regiões, para Cd em seis de 59 regiões, para Ni em três de 29 e para Cu em três de 54. Esses resultados não significam risco uniforme, mas indicam a necessidade de monitoramento contínuo e de avaliação contextualizada da exposição.

No Brasil, estudos realizados com diferentes tipos de leite e técnicas instrumentais também apontaram a presença de elementos de interesse toxicológico. Em Pernambuco, Oliveira Filho et al. (2023) analisaram 142 amostras de leite cru por ICP-OES e observaram que quase 30% apresentaram Pb acima do limite citado no estudo, enquanto Cd permaneceu abaixo do valor máximo considerado. A proximidade das propriedades a rodovias foi indicada como o principal fator associado ao teor de Pb. Em Mato Grosso, Santos et al. (2015) avaliaram leite UHT após decomposição úmida e quantificação por espectrometria de absorção atômica com chama, relatando amostras com Pb e Cr acima dos valores legais adotados pelos autores.

No Vale do Paraíba, Soares et al. (2010) determinaram elementos essenciais e tóxicos em 54 amostras de leite pasteurizado por técnicas de absorção atômica. O Pb foi encontrado em todas as amostras, com concentração média de 0,230 mg/L; os próprios autores destacaram limitações analíticas e a necessidade de métodos mais sensíveis. Em leite cru da região de Guarapuava, Oliveira et al. (2017) propuseram análise direta de suspensões por espectrometria de absorção atômica em forno de grafite, obtendo concentrações de Pb entre 2,12 e 37,36 µg/L, limite de detecção de 0,64 µg/L e limite de quantificação de 2,14 µg/L. As diferenças entre esses resultados reforçam que a comparação entre estudos requer atenção ao tipo de leite, à região, ao preparo da amostra, à técnica, às unidades e ao desempenho analítico demonstrado.

A identificação instrumental de um elemento não é, isoladamente, suficiente para caracterizar risco à saúde. A interpretação depende da concentração validada, da quantidade e frequência de consumo, da massa corporal, do grupo populacional e do valor toxicológico de referência adotado (HASANVAND et al., 2024). Quando aplicável, a espécie química também deve ser considerada (POURRET; HURSTHOUSE, 2019). Assim, a avaliação deve integrar química analítica e estimativa de exposição, evitando conclusões baseadas apenas na detecção ou na comparação superficial com resultados obtidos em condições distintas (SHARMA et al., 2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As evidências examinadas confirmam a ocorrência de elementos potencialmente tóxicos em leite bovino e demonstram que os resultados variam conforme as fontes ambientais e produtivas, o tipo de amostra, a região estudada e o desempenho analítico. Investigações futuras devem aplicar protocolos validados a amostras locais e relacionar os resultados às possíveis vias de entrada na cadeia produtiva.

Palavras-chave: leite bovino; elementos potencialmente tóxicos; chumbo; preparo de amostras; ICP-MS.

ANEXOS

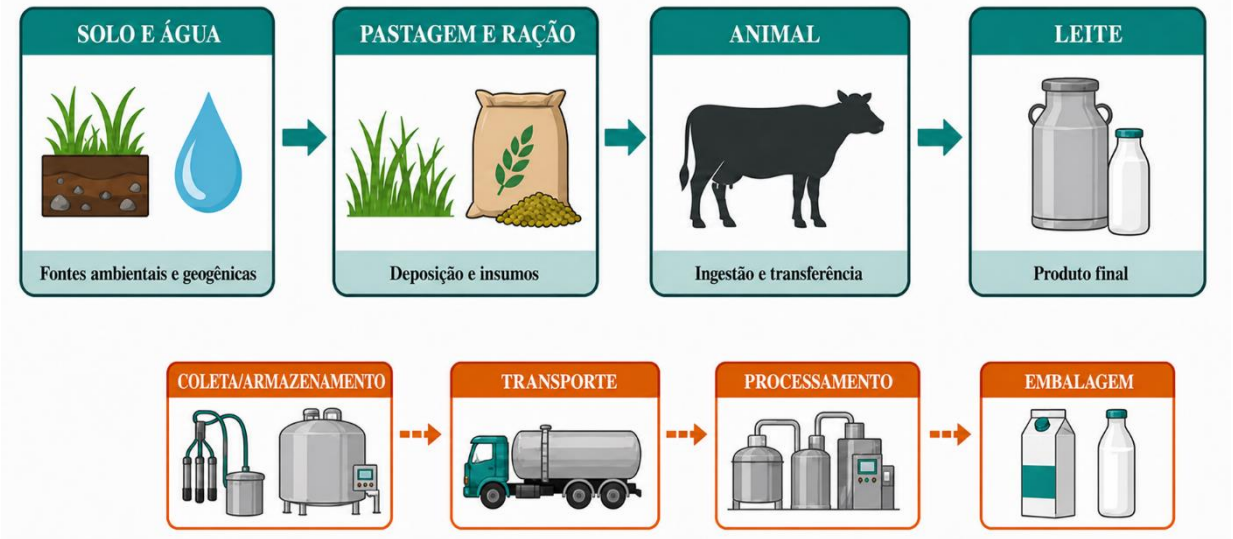


Figura 1. *Vias potenciais de entrada de elementos no leite bovino.*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMMANN, A. A. Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP MS): a versatile tool. Journal of Mass Spectrometry, v. 42, p. 419-427, 2007. DOI: 10.1002/jms.1206.

BOUDEBBOUZ, A. et al. Heavy metals levels in raw cow milk and health risk assessment across the globe: a systematic review. Science of the Total Environment, v. 751, p. 141830, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141830.

HASANVAND, S. et al. Is the milk we drink safe from elevated concentrations of prioritised heavy metals/metalloids? A global systematic review and meta-analysis followed by a cursory risk assessment reporting. Science of the Total Environment, v. 948, p. 175011, 2024. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.175011.

OLIVEIRA, T. M. de; PERES, J. A.; FELSNER, M. L.; JUSTI, K. C. Direct determination of Pb in raw milk by graphite furnace atomic absorption spectrometry (GF AAS) with electrothermal atomization sampling from slurries. Food Chemistry, v. 229, p. 721-725, 2017. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.02.143.

OLIVEIRA FILHO, E. F. de et al. Factors affecting toxic and essential trace element concentrations in cow's milk produced in the State of Pernambuco, Brazil. Animals, v. 13, p. 2465, 2023. DOI: 10.3390/ani13152465.

POURRET, O.; HURSTHOUSE, A. It's time to replace the term "heavy metals" with "potentially toxic elements" when reporting environmental research. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 16, p. 4446, 2019. DOI: 10.3390/ijerph16224446.

SANTOS, C. B. G. et al. Determination of the concentrations of essential and toxic metals in UHT milk produced in Mato Grosso State, Brazil. International Food Research Journal, v. 22, n. 3, p. 981-986, 2015.

SHARMA, A.; GUPTA, S.; SHRIVAS, K.; KANT, T. Progress in analytical methods for monitoring of heavy metals and metalloid in milk and global health risk assessment. Journal of Food Composition and Analysis, v. 135, p. 106568, 2024. DOI: 10.1016/j.jfca.2024.106568.

SOARES, V. A. et al. Determination of nutritional and toxic elements in pasteurized bovine milk from Vale do Paraiba region (Brazil). Food Control, v. 21, p. 45-49, 2010. DOI: 10.1016/j.foodcont.2009.03.010.