APLICAÇÕES DA MICROBIOLOGIA PREDITIVA EM EMBUTIDOS CÁRNEOS FERMENTADOS: UMA REVISÃO DE LITERATURA

MARTINS, Wiaslan Figueiredo[1]; PINTO, Ellen Godinho[2]; SOARES, Dayana Silva Batista[2]; FERNANDES, Ana Paula Stort[2]; CEZÁRIO, Andreia Santos[3]

[1] Bolsista PIBITI e apresentador – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Morrinhos – GO. wiaslan.figueiredo@estudante.ifgoiano.edu.br; [2] Colaboradora – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Morrinhos – GO; [3] Orientadora – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Morrinhos – GO.

RESUMO: A microbiologia preditiva permite representar, por meio de modelos matemáticos, o comportamento de microrganismos em função das condições do alimento e do processo. Objetivou-se analisar suas aplicações em embutidos cárneos fermentados quanto ao controle da fermentação, à segurança e à estabilidade microbiológica. Realizou-se revisão narrativa com busca estruturada nos bancos de dados *PubMed*, *ScienceDirect* e *SciELO*, incluindo estudos originais publicados entre 2008 e 2025. Quatro trabalhos atenderam aos critérios. Os modelos descreveram o crescimento de culturas iniciadoras, a competição entre bactérias ácido-lácticas e a inativação de patógenos. Foram empregados modelos cinéticos, redes neurais artificiais e ferramentas dinâmicas, associados a testes de desafio. Os resultados evidenciam que a modelagem auxilia na definição do tempo e das condições de fermentação, mas sua aplicação depende de validação no produto e do controle de pH, atividade de água e temperatura.
Palavras-chave: Cinética microbiana. Fermentação. Modelagem matemática. Salame. Segurança dos alimentos.

INTRODUÇÃO

Embutidos cárneos fermentados são produtos nos quais a ação de culturas iniciadoras, associada à redução do pH e da atividade de água, contribui para o desenvolvimento das características sensoriais e para a estabilidade microbiológica. Entretanto, variações na matéria-prima, na formulação e nas condições de fermentação e de secagem podem alterar a velocidade desses fenômenos e permitir a sobrevivência de microrganismos indesejáveis.

A microbiologia preditiva utiliza equações matemáticas para descrever e estimar o crescimento, a sobrevivência ou a inativação microbiana. Modelos primários representam a variação da população ao longo do tempo, enquanto modelos secundários relacionam parâmetros cinéticos a fatores como temperatura, pH e atividade de água. Essas ferramentas podem complementar testes de desafio, apoiar a definição de processos e reduzir o número de ensaios experimentais, desde que sejam validadas na matriz de interesse (TARLAK, 2023). Objetivou-se analisar as aplicações da microbiologia preditiva em embutidos cárneos fermentados, com ênfase no controle da fermentação, na segurança e na estabilidade microbiológica.

MATERIAL E MÉTODOS

Realizou-se revisão narrativa com estratégia de busca estruturada, em setembro de 2026, nas bases de dados *PubMed*, *ScienceDirect* e *SciELO*, complementada pelo rastreamento das referências. Utilizaram-se os termos “predictive microbiology”, “mathematical model”, “fermented sausage”, “salami”, “starter culture”, “shelf life” e “food safety”, combinados por AND e OR. A expressão principal foi: (“predictive microbiology” OR “mathematical model”) AND (“fermented sausage” OR “salami”) AND (“shelf life” OR “food safety” OR “starter culture”).

Foram incluídos artigos originais publicados de janeiro de 2008 a dezembro de 2025 que aplicaram modelos matemáticos a dados microbiológicos obtidos em embutidos fermentados. Excluíram-se revisões, estudos sem validação em matriz cárnea, trabalhos sem modelagem do comportamento microbiano e duplicatas. Após leitura de títulos, resumos e textos disponíveis, quatro estudos atenderam ao recorte. Extraíram-se o produto, o microrganismo, a finalidade, o tipo de modelo, as variáveis consideradas e a contribuição tecnológica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estudos selecionados demonstraram aplicações distintas e complementares. Em linguiça tailandesa fermentada, foram

desenvolvidos modelos cinéticos para o crescimento de *Pediococcus acidilactici* e da microbiota ácido-láctica natural. A modelagem auxiliou na seleção da cultura iniciadora e das condições que favorecem a fermentação e a formação de compostos aromáticos (SRIPHOCHANART; SKOLPAP, 2018). Esse resultado mostra que a abordagem preditiva não se limita a perigos microbiológicos e pode contribuir para a padronização da qualidade.

Em embutido fermentado e seco, Huang *et al*. (2022) modelaram simultaneamente o crescimento das bactérias ácido-lácticas e de *Listeria monocytogenes*, bem como as mudanças no pH e na atividade de água. Na ausência das culturas, o patógeno cresceu; em competição, seu desenvolvimento foi suprimido. O estudo evidencia que modelos de competição representam melhor a ecologia do produto do que avaliações isoladas, embora demandem maior quantidade de dados e validação independente.

Palanichamy, Jayas e Holley (2008) empregaram redes neurais artificiais para prever a sobrevivência de *Escherichia coli* O157:H7 em linguiça seca fermentada. A abordagem permitiu integrar relações não lineares entre as condições do processo e a população microbiana. Mais recentemente, Austrich-Comas *et al*. (2023) combinaram testes de desafio e modelos dinâmicos para avaliar *Salmonella* em embutidos secos fermentados de frango. Fermentação, maturação, armazenamento corretivo e alta pressão foram comparados, o que demonstrou que a modelagem pode estimar a contribuição de diferentes barreiras e apoiar a validação do processo.

Em conjunto, os trabalhos indicam que pH, atividade de água, temperatura, tempo, calibre e cultura iniciadora são variáveis centrais. Modelos cinéticos oferecem uma interpretação biológica mais direta, enquanto redes neurais podem representar relações complexas, mas são menos transparentes e exigem uma base experimental robusta. Nenhum modelo deve substituir a verificação microbiológica: predições fora do domínio de desenvolvimento ou transferidas entre formulações podem resultar em estimativas inadequadas. A escassez de estudos voltados a microrganismos deteriorantes também revela uma lacuna na estimativa da vida útil de salames fatiados e embalados a vácuo.

CONCLUSÃO

A microbiologia preditiva apresenta aplicações relevantes em embutidos fermentados, desde o acompanhamento de culturas iniciadoras até a avaliação da competição e da inativação de patógenos. Os modelos auxiliam na definição das condições de fermentação, na comparação de barreiras tecnológicas e na validação da segurança. Contudo, sua confiabilidade depende da qualidade dos dados e da validação na formulação, bem como das condições reais de processamento e de armazenamento. Estudos com bactérias deteriorantes e com produtos elaborados a partir de carnes alternativas, como a ovina, podem ampliar a aplicação desses estudos na estimativa da vida útil.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal Goiano – Câmpus Morrinhos e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio ao projeto PIBITI.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUSTRICH-COMAS, A.; JOFRÉ, A.; GOU, P.; BOVER-CID, S. Assessing the impact of different technological strategies on the fate of *Salmonella* in chicken dry-fermented sausages by means of challenge testing and predictive models. **Microorganisms**, v. 11, n. 2, 432, 2023.

HUANG, L.; HWANG, C.-A.; LIU, Y.; RENYE JR., J. A.; JIA, Z. Growth competition between lactic acid bacteria and *Listeria monocytogenes* during simultaneous fermentation and drying of meat sausages: a mathematical modeling. **Food Research International**, v. 158, 111553, 2022.

PALANICHAMY, A.; JAYAS, D. S.; HOLLEY, R. A. Predicting survival of *Escherichia coli* O157:H7 in dry fermented sausage using artificial neural networks. **Journal of Food Protection**, v. 71, n. 1, p. 6-12, 2008.

SRIPHOCHANART, W.; SKOLPAP, W. Modeling of starter cultures growth for improved Thai sausage fermentation and cost estimating for sausage preparation and transportation. **Food Science & Nutrition**, v. 6, n. 6, p. 1479-1491, 2018.

TARLAK, F. The use of predictive microbiology for the prediction of the shelf life of food products. **Foods**, v. 12, n. 24, 4461, 2023.