

MODELAGEM MATEMÁTICA DA CINÉTICA DE PERDA DE UMIDADE NO PROCESSO DE COZIMENTO DE LINGUIÇA TIPO CALABRESA

Gean Jefferson Ramos de Figueiredo¹, Érica Regina Bárbaro da Silva¹, Maria Clara Costa Alves¹, Jakeline Mendonça¹, Samuel Fernandes De Arruda¹, Elciane Regina Zanatta²

¹Acadêmico de Engenharia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campus Medianeira, Paraná, Brasil, e-mail: figueiredog@alunos.utfpr.edu.br

²Docente do Departamento de Alimentos – DAALM, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campus Medianeira – Paraná, Brasil, e-mail: elcianezanatta@utfpr.edu.br

Resumo: O trabalho realizou a modelagem matemática do cozimento de linguiça calabresa (177 min) pelo modelo de Newton. Obteve-se bom ajuste global ($R^2=0,9341$). Contudo, o modelo subestimou a umidade inicial e superestimou a final devido à resistência da matriz carne. Conclui-se que o modelo descreve a tendência global de perda de massa, mas exige ressalvas para previsões industriais rigorosas nas fases extremas.

Palavras-chave: Processamento térmico; Modelagem matemática; Linguiça calabresa. Cinética de secagem; Modelo de Newton.

MATHEMATICAL MODELING OF MOISTURE LOSS KINETICS DURING THE COOKING PROCESS OF CALABRESA-TYPE SAUSAGE

Abstract: This study performed the mathematical modeling of Calabresa-type sausage cooking (177 min) using Newton's model. A good global fit was obtained ($R^2 = 0.934$). However, the model underestimated the initial moisture content and overestimated the final moisture content due to the resistance of the meat matrix. In conclusion, the model describes the global mass loss trend but requires caveats for rigorous industrial predictions in the extreme phases.

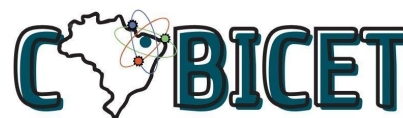
Palavras-chave: Thermal processing; Mathematical modeling; Calabresa sausage; Drying kinetics; Newton's model.

INTRODUÇÃO

O embutido cozido linguiça tipo calabresa é um produto cárneo industrializado com presença consolidada nos hábitos alimentares brasileiros, impulsionado pela busca contínua dos consumidores por praticidade e alimentos de preparo rápido (BERTOL, 2019; GIANELLY, 2017). Regulamentado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento através da Instrução Normativa nº 4 (BRASIL, 2000), este embutido é elaborado com carnes suínas, adição de ingredientes funcionais e condimentação específica, sendo embutido em envoltórios naturais ou artificiais. Para ser disponibilizado no mercado, o produto deve obrigatoriamente passar por um processo tecnológico

térmico adequado, projetado para garantir suas características físicas, químicas e, sobretudo, a sua inocuidade à saúde pública.

Nesse contexto, o processamento térmico em estufas, especificamente o cozimento sob circulação de ar forçado, constitui uma das operações unitárias mais críticas na elaboração deste derivado cárneo. Durante essa etapa, o alimento é submetido a gradientes controlados de calor que promovem a inativação de microrganismos patogênicos e deteriorantes, assegurando a estabilidade microbiológica do alimento (FROTA, 2016). Normativas sanitárias rigorosas, a exemplo da Portaria nº 2619/11 (BRASIL, 2011), estabelecem binômios mínimos de tempo e temperatura para o ponto frio do produto



(como 70 °C por 2 minutos), visando assegurar a eficácia letal do processo.

Contudo, do ponto de vista termodinâmico da engenharia de alimentos, o cozimento em fornos e estufas industriais não se resume apenas à elevação de temperatura, mas caracteriza-se por uma vigorosa transferência simultânea de calor e massa, comportando-se na prática como uma verdadeira operação unitária de secagem (PIAIA, 2009). À medida que a energia térmica penetra no interior da matriz cárnea e desnatura as proteínas miofibrilares, a umidade confinada (água livre) e frações de tecidos adiposos fundidos migram para a superfície do embutido, evaporando para a atmosfera da câmara (FELLOWS, 2019). Essa "cinética de secagem", induzida pelas condições de cozimento, causa uma redução contínua na massa do produto, fenômeno conhecido industrialmente como quebra de cozimento, o qual impacta não apenas o rendimento econômico do lote, mas também as propriedades sensoriais de textura e suculência (SILVA, 2015; PAGOTTO, 2025).

O processo térmico de cozimento de embutidos cárneos transcende a simples inativação microbiana, configurando-se como uma complexa desidratação. Durante a exposição ao ar aquecido nas estufas industriais, as proteínas formadoras da matriz cárnea, com destaque para as miofibrilares, sofrem desnaturação e consequente retração tridimensional. Esse encolhimento físico da estrutura celular diminui drasticamente a capacidade de retenção de água da carne, o que impulsiona mecanicamente a expulsão da umidade livre e das frações de gordura para a superfície do embutido (TORNBERG, 2005).

O tempo de permanência das linguiças na câmara de cozimento varia conforme as especificações de cada indústria, estendendo-se impreterivelmente até que o centro térmico atinja as temperaturas de segurança. Esta longa exposição gera uma acentuada evaporação de água, que, embora cumpra a função tecnológica de coagular proteínas e conferir firmeza à linguiça, consolida a quebra de peso da peça. Se não for rigorosamente controlada, essa perda hídrica causa prejuízos financeiros severos por perda de rendimento e impacta negativamente características cruciais como a suculência e o aroma (SANTOS, 2007; KEETON, 1994).

Na engenharia de alimentos, a eliminação contínua de água de um produto induzida pela convecção de ar aquecido é formalmente analisada por meio dos princípios da cinética de secagem. A secagem é reconhecida como uma técnica primordial para a remoção da água intersticial, reduzindo de forma eficaz a atividade de água da matriz e inibindo dinâmicas de degradação bioquímica e microbiana (CHAVAN *et al.*, 2008). O estudo desta cinética foca em quantificar a taxa na qual a umidade é extraída do

material, correlacionando a redução da massa ao longo do tempo com as variáveis operacionais do processo, tais como a temperatura e a umidade relativa do ar (SIMAL *et al.*, 2003).

Em materiais biológicos heterogêneos e densos, a exemplo das carnes e linguiças embutidas, o comportamento cinético apresenta fases difusivas muito bem delimitadas. Nos instantes iniciais de contato com o calor, ocorre uma rápida evaporação da umidade que se encontra livre na superfície do envoltório. À medida que o tempo transcorre, a taxa de perda de massa sofre uma acentuada desaceleração, inaugurando o período de taxa decrescente, no qual a secagem passa a ser limitada integralmente pela difusão interna — ou seja, pela resistência física que a água enfrenta para transpor as camadas profundas da carne até atingir o meio externo (MIRADE; DAUDIN, 2000).

Diante do funcionamento global altamente dinâmico das modernas câmaras de cozimento e secagem de embutidos, o desenvolvimento de métodos capazes de monitorar essas taxas de transferência torna-se estritamente indispensável frente às exigências do mercado competitivo (ROZENFELD, 1999). A quantificação precisa da cinética de transferência de umidade fornece parâmetros industriais valiosos, permitindo prever a dinâmica gravimétrica e desenhar ciclos térmicos que resguardem tanto o padrão comercial estético quanto a segurança microbiológica do produto cárneo.

Para analisar, descrever e prever o comportamento do embutido perante essas taxas de perda de umidade, a modelagem matemática apresenta-se como uma ferramenta científica e tecnológica indispensável. Conforme elucidada Bassanezi (1994), a modelagem consiste no processo de traduzir um fenômeno do mundo real para uma estrutura matemática, viabilizando a simulação, o controle e a otimização de processos de forma mais eficiente. Na área de alimentos, a aplicação de equações preditivas para a cinética de secagem permite visualizar a intensidade das transformações sofridas pela matriz cárnea, minimizando a dependência da indústria por exaustivos e onerosos ensaios empíricos de prateleira (ROBAZZA; TELEKEN; GOMES, 2010).

Dentre as abordagens matemáticas amplamente utilizadas na literatura para descrever essas cinéticas térmicas de perda de massa, destacam-se os modelos empíricos e semiempíricos baseados em princípios fundamentais da difusão, a exemplo da Lei de Resfriamento de Newton (SILVA *et al.*, 2024). O modelo de Newton (exponencial), concebido originalmente como uma modificação para corrigir desvios não-lineares, é reconhecido internacionalmente por sua elevada precisão de ajuste e por sua capacidade de descrever, de forma

macroscópica e simplificada, o decréscimo exponencial da umidade (secagem em camada delgada) que o alimento experimenta ao longo do tratamento térmico (PAGOTTO, 2025; ZANATTA *et al.*, 2023).

Diante da complexidade dos fenômenos de transferência e difusão de água envolvidos no processamento de carnes e do seu impacto na quebra de rendimento, o presente estudo tem como objetivo realizar a modelagem matemática da cinética de secagem e perda de massa no processo de cozimento do embutido linguiça tipo calabresa. Para tanto foi realizado o ajuste dos dados experimentais industriais ao modelo de Newton (exponencial), desta forma, busca-se descrever com precisão o comportamento temporal e gravimétrico do produto, fornecendo uma base científica sólida para o entendimento termodinâmico e a futura otimização desta etapa de fabricação.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização dos experimentos, foram empregados os seguintes insumos, equipamentos e recursos computacionais: amostras de embutidos cárneos (linguiça tipo calabresa), uma estufa industrial da marca Eller (equipada com sistema de circulação de ar forçado e sistema de defumação), um cronômetro digital para controle dos intervalos de tempo, sensores e termômetros para medição da temperatura interna do produto, uma balança semi-analítica para determinação da variação de massa e um computador equipado com o software de planilhas eletrônicas Microsoft Excel. Os experimentos foram integralmente conduzidos no Laboratório de Tecnologia de Carnes e Derivados (Laboratório J15) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Câmpus Medianeira.

A formulação da linguiça tipo calabresa utilizada no experimento foi constituída por uma matriz carne composta estritamente por 61,2% de retalho suíno magro e 33,0% de retalho suíno gordo, estabelecendo uma proporção específica entre proteínas estruturais e tecidos adiposos que define as propriedades físico-químicas do embutido. Essa massa homogeneizada foi embutida em tripa bovina natural com calibre padronizado de 40-42 mm, a qual atua como uma barreira física mecânica externa. Essa composição e o tipo de invólucro são determinantes para o comportamento do produto sob processamento térmico, pois impõem uma resistência interna pronunciada ao fluxo difusivo da água e influenciam diretamente a dinâmica de transferência de calor e perda de massa ao longo do cozimento.

O processamento térmico teve início com a organização das amostras de linguiça calabresa em pares, as quais foram suspensas nos varais de alumínio mantendo-se um espaçamento padronizado de 10 cm entre si para garantir a homogeneidade na distribuição do calor e na circulação do ar ambiente. Em seguida, o lote foi inserido na estufa industrial Eller para o processo de cozimento sob circulação de ar forçado e defumação por queima de serragem.

O monitoramento do cozimento foi realizado de forma contínua através de registros cronometrados a cada cinco minutos, intervalo no qual coletaram-se os dados de temperatura interna (ponto frio) e a variação da massa do produto. O procedimento térmico foi encerrado assim que a temperatura interna das amostras atingiu 70 °C e permaneceu estável por um período mínimo de 2 minutos, assegurando a letalidade térmica e a segurança microbiológica do embutido. Visando garantir a confiabilidade estatística e a reprodutibilidade do estudo, todos os ensaios foram executados em triplicata.

Posteriormente, os dados experimentais coletados foram tabelados e organizados no software Microsoft Excel, onde gerou-se uma análise gráfica inicial para confrontar o perfil térmico obtido com os padrões operacionais adotados pela indústria. Por fim, os dados cinéticos do cozimento foram ajustados exclusivamente ao modelo de Newton (exponencial). A avaliação quantitativa e o entendimento do comportamento do embutido ao longo do tempo foram fundamentados nos parâmetros estatísticos de ajuste gerados por este modelo matemático.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados experimentais brutos relacionados ao peso em gramas, obtidos durante o acompanhamento do processo de cozimento da linguiça tipo calabresa, são apresentados na Tabela 1:

Tabela 1: Valores do peso em gramas ao longo do tempo de cozimento da linguiça tipo calabresa.

Tempo (minuto)	Peso (grama)
0	130,328
15	128,987
32	127,931
48	126,868
64	122,354



80	120,895
96	119,549
113	118,45
129	117,325
144	116,271
161	115,332
177	114,29

Fonte: Autoria Própria (2026).

A análise da Tabela 1 evidencia uma contínua e acentuada redução no peso (em gramas) das amostras ao longo do tempo de processamento térmico na estufa. Esse fenômeno, tecnicamente conhecido na indústria cárnea como "quebra de cozimento", é uma consequência direta da transferência simultânea de calor e massa que ocorre no produto devido à exposição a altas temperaturas sob circulação de ar forçado (SILVA, 2015).

Fisicamente, a perda de peso registrada na tabela decorre da evaporação da umidade presente na formulação e da fusão parcial dos tecidos adiposos. À medida que a energia térmica penetra no embutido, as proteínas miofibrilares sofrem desnaturação e encolhimento estrutural, exercendo uma pressão mecânica que expulsa a água livre do interior do núcleo para a superfície da linguiça, onde ela evapora para a atmosfera da câmara (TORNBERG, 2005).

Esse comportamento cinético de redução de peso corrobora fortemente com os dados experimentais relatados na literatura por Piaia (2009), que avaliou o cozimento de linguiças em fornos industriais. Segundo o autor, a perda de peso não se dá de maneira perfeitamente linear ao longo de todo o tempo, uma vez que a matriz heterogênea do produto (carne e gordura) e a barreira semipermeável imposta pelo envoltório natural (tripa) oferecem uma resistência dinâmica à saída da água, justificando o tempo prolongado necessário para secar e cozinhar a peça por completo (PIAIA, 2009).

O monitoramento contínuo dessa redução de peso em gramas é essencial para o controle de qualidade industrial, pois permite identificar o momento ideal de encerramento do processo térmico. O aquecimento além do necessário resultaria em uma desidratação severa do embutido, causando sérios prejuízos econômicos por perda excessiva de rendimento (peso) e impactando negativamente os atributos sensoriais fundamentais para o consumidor, como a maciez e a suculência da linguiça calabresa (SILVA, 2015).

Os resultados experimentais para a Umidade Relativa (RU) obtidos dos dados brutos durante o processo de cozimento da linguiça tipo calabresa, bem como os valores preditos pelo ajuste matemático do modelo de Newton (Exponencial), estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Valores de Umidade Relativa (RU) experimental e predita pelo modelo de Newton (Exponencial) ao longo do tempo de cozimento da linguiça tipo calabresa.

Tempo (minuto)	RU (experimental)	RU predito Modelo Newton
0	1	1
15	0,956	0,848
32	0,799	0,703
48	0,761	0,590
64	0,524	0,494
80	0,438	0,414
96	0,347	0,348
113	0,271	0,288
129	0,198	0,242
144	0,129	0,205
161	0,067	0,170
177	0	0,142

Fonte: Autoria Própria (2026).

O processamento térmico teve duração total de 177 minutos, intervalo necessário para que o ponto frio das amostras atingisse a estabilidade térmica exigida para a segurança do produto. Esta etapa de tratamento térmico representa um ponto crítico no processamento de derivados cárneos suínos, sendo responsável por garantir a estabilidade do alimento e reduzir riscos à saúde pública através da inativação de microrganismos patogênicos e deteriorantes. Atendendo aos protocolos sanitários vigentes, a manutenção do processo até que o ponto frio atingisse 70 °C por um período mínimo estável está em plena conformidade com parâmetros rígidos de qualidade higiênico-sanitária, a exemplo da Portaria nº 2619/11 da Secretaria Municipal da Saúde de São Paulo, que estipula binômios seguros de tempo e

temperatura (como 70 °C por 2 minutos ou 65 °C por 15 minutos) para assegurar a inocuidade alimentar.

A análise do perfil cinético demonstra que o produto apresentou uma perda contínua de massa ao longo de todo o tempo de cozimento. Esse fenômeno expressa diretamente o percentual de quebra do processo indicador industrial relevante para o monitoramento de rendimento e controle de perdas, resultante da diferença entre o peso de entrada do lote na estufa e o seu peso de saída. Do ponto de vista dos fenômenos de transporte, essa perda de massa reflete a remoção da água livre presente na matriz cárnea impulsionada pelo gradiente térmico da estufa (FELLOWS, 2006; TORNBERG, 2005). Trata-se de um mecanismo de transferência simultânea de calor e massa, em que o calor é conduzido para o interior do embutido ao mesmo tempo em que a umidade se difunde das células internas em direção à superfície. A eficiência desse processo de secagem concomitante é influenciada por fatores operacionais como a temperatura, a umidade relativa do ambiente e a velocidade de circulação do ar na estufa Eller. Sob a ótica da Lei de Fourier, essas condições operacionais atuam diretamente sobre a camada-limite do alimento, considerada a zona crítica onde ocorrem as principais trocas energéticas e evaporativas.

Observando os dados, constata-se que o modelo de Newton consegue descrever satisfatoriamente a tendência macroscópica de declínio exponencial da umidade do embutido. Essa aderência global é corroborada pelo elevado coeficiente de determinação obtido ($R^2 = 0,9341$), indicando que 93,4% da variação dos dados experimentais pode ser explicada pela equação preditiva ajustada. Esse patamar de ajuste quantitativo é considerado preciso e adequado pela literatura científica para modelagens simplificadas na engenharia de alimentos (MADAMBA et al., 1996). Convém destacar que o cálculo dos parâmetros cinéticos do modelo foi otimizado computacionalmente por meio do Método do Gradiente Reduzido Generalizado (GRG), algoritmo matemático robusto e amplamente referenciado pela sua eficiência na resolução de equações e programações não-lineares.

O comportamento visual desse ajuste pode ser observado na Figura 1, apresentada a seguir.

Os pontos azuis representam os dados experimentais médios coletados. A linha laranja contínua representa a curva teórica predita pelo modelo de Newton (Exponencial). A relação entre elas mostra que, embora a tendência geral seja de declínio exponencial (com $R^2 = 0,9341$), o modelo subestima a RU inicial (pontos azuis acima da linha entre 15 e 48 min) e superestima a RU final (pontos azuis abaixo da linha no final do processo). Essa divergência destaca as limitações do modelo de

Newton para matrizes complexas, como discutido a seguir.

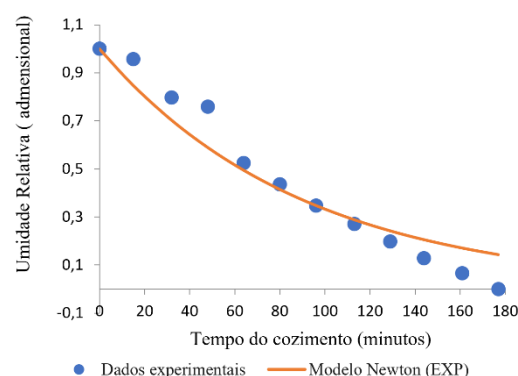
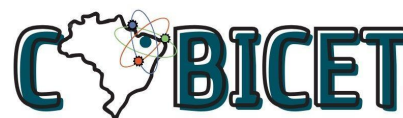


Figura 1: Cinética de perda de umidade da linguiça tipo calabresa durante o processamento térmico e ajuste matemático pelo modelo de Newton (Exponencial).

Fonte: Autoria Própria (2026).

Do ponto de vista teórico, essa divergência é explicada pelas premissas do próprio modelo de Newton. Por ser um modelo exponencial simples de um único parâmetro, ele assume que a resistência interna à transferência de umidade é desprezível e que a secagem ocorre de forma perfeitamente uniforme na superfície e no interior (MUJUMBAR, 2006). Contudo, a linguiça calabresa é uma matriz biológica altamente complexa, composta por uma rede tridimensional de proteínas, gorduras e envolta por uma tripa natural ou artificial (FEINER, 2006). Essas barreiras físicas oferecem significativa resistência interna à difusão da água para a superfície do produto. Conforme apontado na literatura sobre secagem e cozimento de alimentos complexos, o modelo de Newton frequentemente falha em capturar o "período de indução" inicial e a queda abrupta final (DOYMAZ, 2004), o que geralmente justifica a necessidade empírica de outros modelos preditivos, como o de Page, para corrigir essas não linearidades em produtos de maior espessura (PAGOTTO, 2025). Por fim, as pequenas oscilações e desvios observados podem ser atribuídos a fontes de erros inerentes ao delineamento experimental. Entre elas, destacam-se a possível heterogeneidade na composição físico-química dos gomos de linguiça (variações no teor inicial de gordura e água), flutuações microclimáticas (temperatura e fluxo de ar) no interior da estufa industrial durante as aberturas para medição, e a perda de umidade para o ambiente no momento da transferência das amostras para a balança semi-analítica. Apesar dessas variáveis, os dados obtidos mostraram-se coerentes com os perfis industriais de cozimento de embutidos, permitindo uma compreensão clara da dinâmica de transferência de massa do produto e fornecendo uma



avaliação quantitativa sólida da adequação do modelo para este processamento.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, foi possível avaliar a adequação do modelo matemático à cinética de cozimento da linguiça tipo calabresa. A obtenção dos dados experimentais de perda de massa ao longo do tempo, aliada ao uso de ferramentas computacionais para determinar os parâmetros da equação e o coeficiente de determinação (R^2), forneceu uma base quantitativa e visual sólida para julgar a precisão da modelagem.

Em relação ao ajuste, os resultados gerados pelo modelo de Newton (Exponencial) se ajustaram de forma satisfatória à tendência geral dos dados experimentais, o que é evidenciado pelo R^2

de 0,934 (explicando 93,4% da variação). No entanto, o ajuste não foi perfeito em toda a curva: o modelo apresentou limitações ao subestimar a umidade no início do processo e superestimar a umidade no final, falhando em capturar a resistência inicial e a perda abrupta de água da matriz cárnea complexa.

Com isso, pode-se concluir que o modelo utilizado se adequa de forma aceitável para descrever o comportamento macroscópico e a tendência global de perda de umidade do embutido de maneira simplificada. Contudo, devido aos desvios observados nas extremidades do processo, ele não se adequa integralmente para aplicações industriais que exijam uma predição exata e rigorosa das fases iniciais e finais do cozimento, reforçando a ideia de que matrizes alimentícias complexas frequentemente demandam modelos empíricos adicionais para corrigir tais não linearidades.

TRABALHOS FUTUROS

Como o modelo de Newton é bem simplificado e considera a resistência à transferência de massa concentrada apenas na superfície, sugere-se para pesquisas futuras aplicar o Modelo de Page, Modelo de Henderson e Pabis, ou a Segunda Lei de Fick para geometria cilíndrica, entre outros.

Matrizes cárneas demandam modelos adicionais para corrigir não linearidades, portanto, sugere-se que em estudos futuros seja tentado adicionar um fator de correção para o modelo atual ajustado aos dados experimentais de forma a representar a não

linearidade do início e do fim do processo de cozimento.

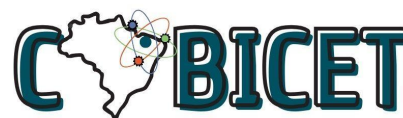
Também, acredita-se que seja interessante a inclusão de variáveis físico-químicas uma vez que o modelo atual considerou apenas a perda de massa global pelo tempo, contudo, a linguiça calabresa possui gordura, proteínas que desnaturam com o calor e um invólucro natural que altera a permeabilidade ao longo do cozimento. Pode-se incorporar variáveis como a taxa de encolhimento volumétrico, a temperatura interna do produto e a composição centesimal no modelo matemático. Avaliar como a formação de uma "crosta" superficial (fenômeno de *case hardening*) influencia a resistência à saída de água no final do processo.

AGRADECIMENTOS

Expresso minha sincera gratidão à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pela oportunidade de ensino e, em especial, pela indispensável infraestrutura e empréstimo dos laboratórios, que tornaram possível a execução prática desta pesquisa. Aos meus amigos, deixo o meu muito obrigado pela parceria diária, pelo companheirismo que aliviou a rotina acadêmica e pela fundamental ajuda na construção deste projeto. Por fim, manifesto minha profunda e especial gratidão à Prof^ª. Dr^ª. Elciane Regina Zanatta. Seu enorme auxílio, paciência, rigor científico e constante incentivo ao estudo foram a base para o meu desenvolvimento e para o sucesso deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- BASSANEZI, R. Modelagem Matemática. *DYNAMIS – Revista Tecno-Científica*. Universidade Regional de Blumenau, v. 2, n. 7, p. 55-80, 1994. Acesso em: 26 de jun. 2026.
- BERTOL, T. M. Qualidade da carne suína e de produtos derivados. In: ENCONTRO NACIONAL DE SUINOCULTURA, 2019.
- CHAVAN, B. R. *et al.* Effect of microwave drying on the quality of salted and unsalted dried mackerel. *Journal of Food Engineering*, v. 88, n. 4, p. 483-488, 2008.
- DOYMAZ, I. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*, v. 61, n. 3, p. 359-364, 2004. Acesso em: 26 de jun. 2026.



FEINER, G. *Meat products handbook: Practical science and technology*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2006. Acesso em: 26 de jun. 2026.

FELLOWS, P. J. *Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática*. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. Acesso em: 27 de jun. 2026.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. *Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa*. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 1990. Acesso em: 27 de jun. 2026.

KEETON, J. T. Nutritional and safety concerns of meat and meat products. *Meat Science*, v. 36, n. 1-2, p. 261-276, 1994.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. The thin-layer drying characteristics of garlic slices. *Journal of Food Engineering*, v. 29, n. 1, p. 75-97, 1996. Acesso em: 27 de jun. 2026.

MIRADE, P. S.; DAUDIN, J. D. Numerical simulation of the air flow patterns in a meat drying chamber. *Journal of Food Engineering*, v. 46, n. 4, p. 257-268, 2000.

MUJUMDAR, A. S. *Handbook of industrial drying*. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2006. Acesso em: 28 de jun. 2026.

PAGOTTO, Ana Beatriz De Oliveira. *Secagem de folhas de Hovenia dulcis: cinética experimental e ajuste de modelos empíricos que descrevem o processo*. 2025. 44 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2025. Acesso em: 28 de jun. 2026.

ROBAZZA, W. S.; TELEKEN, J. T.; GOMES, G. A. Modelagem Matemática do Crescimento de Microrganismos em Alimentos. *Trends in Computational and Applied Mathematics*, v. 11, n. 1, p. 101-110, 2010. Acesso em: 28 de jun. 2026.

ROZENFELD, H. *Planejamento estratégico e projeto de produtos*. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

SANTOS, E. *Avaliação das propriedades tecnológicas de tripas naturais submetidas ao tratamento com peróxido de hidrogênio e ácido láctico*. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SILVA, Milena de Oliveira. *Modelagem e análise do processo de cozimento de linguiça tipo calabresa*. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), Campus de Erechim, Erechim, RS. Acesso em: 28 de jun. 2026.

SIMAL, S. *et al.* Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. *Journal of Food Engineering*, v. 56, n. 4, p. 323-328, 2003.

TORNBERG, E. Effects of heat on meat proteins Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*, v. 70, n. 3, p. 493-508, 2005.