



ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS DAS CURVAS DE CONGELAMENTO DO FISHBURGUER DE TILÁPIA.

DYONATHAN FELIPE KREUZ^{1,2}, GUSTAVO HENRIQUE FIDELIS DOS SANTOS^{2,3}

1 Introdução

O fishburger é uma denominação referente ao hambúrguer de peixe devido à similaridade de processamento do hambúrguer bovino. O congelamento é uma operação unitária muito aplicada como método de conservação de produtos cárneos (FELLOWS, 2006). O comportamento de congelamento de um alimento é representado por curvas experimentais. A aplicação de modelos matemáticos que simulem estas curvas pode contribuir na otimização do processo.

2 Objetivos

Realizar estudo teórico e modelagem computacional do processo de resfriamento e congelamento do fishburger de tilápia a partir de código computacional em linguagem Maple®18.

3 Metodologia

Ensaio foram conduzidos em freezer convencional com função de congelamento rápido (H500, Electrolux) com temperatura do ar de congelamento no interior do freezer (-30°C). A temperatura no centro do fishburger foi medida por termopares tipo T (Novus). Foi avaliado modelo matemático de parâmetros distribuídos, considerando o fishburger como um sistema físico que troca calor por condução e convecção natural com as vizinhanças, resfriamento uniforme e transferência de calor unidimensional. As propriedades físicas foram estimadas a partir de modelos que consideram a composição do produto. As simulações dos modelos matemáticos foram resolvidas por algoritmo desenvolvido no *software* Maple®18.

3.1. Análise e simulação do modelo matemático

O modelo foi avaliado considerando que a transferência de calor que ocorre de forma unidimensional em z, devido a sua pequena espessura. Desta forma foi inserido a condução de calor por meio da equação que representa a difusão do calor em coordenadas cilíndricas.

Para resolução deste modelo foram consideradas as seguintes hipóteses simplificadoras: (1) Fluxo unidimensional ao longo do eixo z; (2) As propriedades termofísicas serão consideradas homogêneas por todo o sistema; (3) As propriedades físicas do fishburger como densidade e

1 Titulação acadêmica Graduação em Engenharia de Alimentos, instituição Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), campus Laranjeiras do Sul, contato: dyonathanfk2008@hotmail.com

2 Grupo de Pesquisa: Modelagem teórica e simulação de sistemas físicos - MTSSF

3 Titulação acadêmica Doutor em Engenharia Química, instituição UFFS, **Orientador**.



calor específico serão estimadas a partir de diferentes modelos apresentados na literatura; (4) Transferência de calor por condução e convecção natural; (5) Método numérico selecionado para a solução deste modelo foi o método das linhas.

O balanço de energia (2ª Lei de Fourier) é representado pela Equação 1, enquanto que condição inicial e condições de contorno estão representadas pelas Equações (2-4), respectivamente.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T(z, t)}{\partial t} \quad (1)$$

Condição inicial:

$$T(z, 0) = T_0 \quad (2)$$

Condições de contorno:

$$-K \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=0} (z, t) = 0 \quad (3)$$

$$-K \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=L} (z, t) = h [T(z, t) - T(\infty)] \quad (4)$$

Em que:

K- Condutividade térmica ($W m^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$);

T(z, t) - Temperatura do fishburguer em função do tempo ($^\circ C$);

h - Coeficiente de transferência de calor por convecção natural ($W m^{-2} \text{ } ^\circ C^{-1}$);

T_∞ - Temperatura ambiente no interior do freezer ($^\circ C$);

T_0 - Temperatura inicial ($^\circ C$).

4 Resultados e Discussão

Os dados aplicados nos modelos resumem-se a dados calculados e dados experimentais apresentados na Tabela 1.

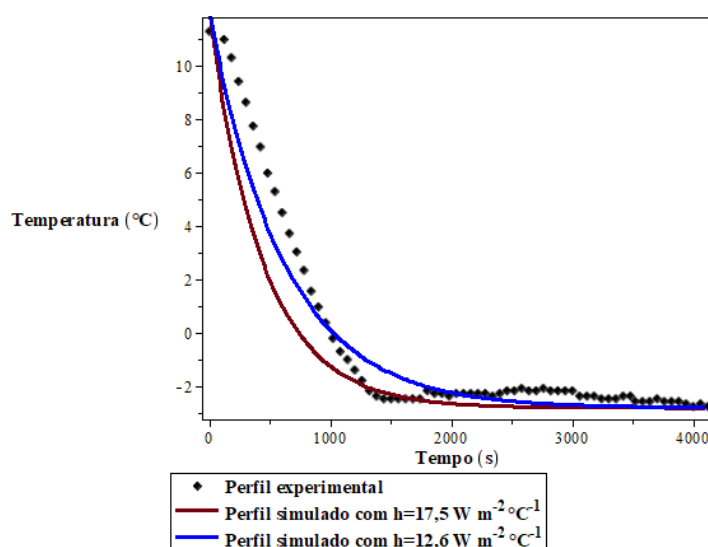
Tabela 1. Dados calculados e experimentais.

Dados experimentais	Dados calculados
$T_0 = 11, 28 \text{ } ^\circ C$	$\rho = 1036,4860 \text{ kg m}^{-3}$
Espessura do fishburguer = $8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$	$V = 6,30 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$
Diâmetro do fishburguer = $0,1 \text{ m}$	$C_p = 3,7889 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$
$T_\infty = -30 \text{ } ^\circ C$	$A = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
	$K = 0,4454 \text{ W m}^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$

4.1. Simulação do resfriamento

O método das linhas foi o método numérico utilizado para solução das Equações (1) a (4), que consiste de uma semi-discretização, em que substitui-se as derivadas espaciais da equação diferencial parcial (EDP) com aproximações algébricas (MELO, 2011). A partir do código computacional desenvolvido, foi possível simular o comportamento da temperatura em função do tempo de resfriamento do fishburguer representado na Figura 1.

Figura 1. Perfil de congelamento experimental, simulado pelo modelo 2 com $h=17,5 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e simulado pelo modelo 2 com $h=12,6 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.



A curva do modelo que representou maior R^2 (0,98) foi obtida utilizando o coeficiente convectivo com valor de $12,6 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, representando a curva de resfriamento de forma satisfatória. PIROZZI e AMENDOLA (2005), estudaram o resfriamento rápido do morango realizando o ajuste do coeficiente convectivo após estimativa inicial de $10 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ para $16 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e encontraram o menor valor de resíduos possível entre as curvas numéricas e experimentais.

4.2. Simulação do congelamento

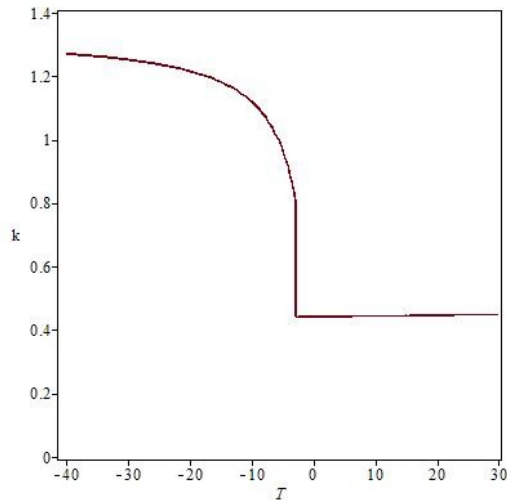
Para simulação das curvas de congelamento, foi preciso reavaliar o coeficiente de condutividade térmica, pois este varia de forma drástica com temperaturas abaixo de 0°C devido a formação de cristais de gelo. Para a previsão dos coeficientes de condutividade térmica foi desenvolvido um código a partir da composição do fishburguer. Os dados gerados por este código proporcionaram estabelecer a relação entre a condutividade térmica e a temperatura no fishburguer, conforme representado pela Figura 2.

Esta avaliação do coeficiente de condutividade térmica em função da temperatura a partir da composição do alimento foi realizada por NECKEL e MARIANI (2010). Neste trabalho foi realizado o



estudo da modelagem e simulação do congelamento por convecção forçada da beterraba.

Figura 2. Curva do coeficiente de condutividade térmica (k) em função da temperatura (T).



Com os valores de condutividade térmica em função da temperatura já calculados, será possível desenvolver um novo algoritmo computacional e representar a curva de congelamento do fishburger de tilápia.

5 Conclusão

Os resultados mostraram que o modelo matemático de resfriamento proposto se ajustou aos dados experimentais, portanto, o modelo proposto simulou o perfil de resfriamento do fishburger de tilápia até a fase de formação de cristais de gelo. Com a simulação da curva de congelamento será possível concluir o projeto.

Referências

- FELLOWS, P. J. Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Prática. 2ª ed. Porto Alegre: Artmed, (2006).
- MELO, M. J. K. - Aplicação do método das diferenças finitas explícito na solução da equação do calor para o caso transiente e unidimensional. Angicos - RN (2011).
- NECKEL J. V.; MARIANI C. V. – Modelagem do congelamento da beterraba. Buenos Aires, Argentina (2010).
- PIROZZI Z. C. D.; AMENDOLA M.- Modelagem matemática e simulação numérica do resfriamento rápido de morango com ar forçado. Botucatu – SP (2005).

Palavras-chave: Conservação; Congelamento; Modelagem.

Financiamento

Fundação Araucária.