

MODELAGEM MATEMÁTICA E SIMULAÇÃO EM VISUAL BASIC EXCEL DE TRATAMENTOS TÉRMICOS EM AUTOCLAVE DE SIMULANTES DE ALIMENTOS COM DIFERENTES VALORES DE DIFUSIVIDADE TÉRMICA

Paloma Paulino Vieira¹; Gustavo Ferreira Leonhardt²

¹ Aluna de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

² Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

Resumo. *Este trabalho apresenta um modelo matemático para desenvolver um programa para auxiliar o processo de esterilização de alimentos enlatados em autoclave utilizando-se a ferramenta de programação Visual Basic no Excel, uma vez que este prevê o valor de F_0 no ponto mais frio do produto por equações integradas de difusão do calor e pelo princípio de processo dividido para estimar a temperatura em cada instante. O programa prevê o valor F_0 de forma satisfatória, uma vez que o perfil de temperatura do alimento previsto teve bom ajuste com o perfil de temperatura do alimento obtido experimentalmente. No ensaio 2, o erro entre o valor de F_{0EXP} e o F_{0MOD} foi igual a 24 %, porém o programa conseguiu prever um tratamento térmico que garante a esterilização desejada, não ocorrendo um subprocessamento, mas aconselha-se que seja utilizada uma maior quantidade de entrada de valores de tempo e temperatura da autoclave a fim de obter um erro menor.*

Introdução

O processamento térmico é um dos métodos mais utilizados para preservação de produtos alimentícios, pois, ao inativar enzimas e a atividade microbiológica prejudicial, torna o alimento seguro para o consumo. O processo de esterilização consiste em aquecer o alimento, dentro de sua própria embalagem, em autoclave pressurizada por temperatura e tempo pré-definidos, sendo estes calculados com base na difusividade térmica, na geometria do produto alimentício e na resistência térmica de microrganismos.

Este trabalho teve como objetivo desenvolver o programa para auxiliar a etapa de determinação de tratamentos térmicos utilizando-se a ferramenta de programação Visual Basic no Microsoft Excel 2010, para prever o valor F_0 no ponto mais frio do produto por equações admitindo a condição de distribuição uniforme de temperatura e condução como o mecanismo de transferência de calor a fim de compará-lo com o valor F_0 experimental com latas cilíndricas contendo simulantes de alimentos com diferentes valores de difusividade térmica.

Transferência de calor

Uma análise das soluções encontradas na literatura para a placa plana infinita e o cilindro infinito, da equação diferencial parcial da condução na forma integrada que é utilizada para o cálculo das temperaturas em função do tempo, mostra que elas possuem a mesma forma estrutural, podendo ser representadas por meio da Equação (1), na qual u representa o adimensional de temperatura medido no tempo t . A_n representa o coeficiente constante de cada termo da série que depende do formato do corpo e do número de Biot, o parâmetro B_n é função do formato do corpo, das ordenadas do ponto de medida considerado e do número de Biot e a constante C_n depende do formato e das propriedades físicas do corpo considerado, do seu tamanho e do número de Biot.

$$u = \sum_{n=1}^{\infty} A_n B_n \exp(-C_n t) \quad (1)$$

A solução da equação diferencial parcial da condução para corpos de dimensões finitas baseia-se na regra de Newman (1936), que consiste em estabelecer o perfil de temperatura

para corpos finitos a partir da solução obtida para corpos infinitos. O método de Newman, também conhecido como regra da multiplicação, baseia-se no fato de que um corpo finito pode ser obtido pela interseção de dois ou mais corpos infinitos. No caso das condições de contorno para os corpos infinitos serem as mesmas verificadas para os corpos finitos, a solução para o corpo finito pode ser obtida multiplicando-se as soluções para os corpos infinitos. Leonhardt (1976), aplicando a regra da multiplicação às equações da placa plana infinita e do cilindro finito, propôs equações para o cálculo da temperatura central e da temperatura média de recipientes cilíndricos e paralelepípedicos.

Uma outra análise encontrada na literatura é a equação parcial da condução em sua forma derivada para o cilindro finito. Admitindo-se constante a difusividade térmica α , a Equação (2) foi descrita por Carslaw e Jaeger (1959), em que T é a temperatura local momentânea, t é o tempo, r e h são as coordenadas de um ponto específico do cilindro.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left[\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial h^2} \right] \quad (2)$$

O método de resolução a ser utilizado é converter as derivadas parciais para um conjunto de equações diferenciais formuladas para um dado ponto específico selecionado a partir de uma grade tridimensional sobreposta (Chen et al., 2011). Por conta das considerações em relação a simetria, a análise requerida pode ser feita com apenas um quarto do cilindro. Dessa forma, a equação parcial da condução de calor é convertida para a Equação (3), na qual i e j indicam a localização do ponto estudado mostrado na Figura 1.

$$T_{(i,j)}^{(t+\Delta t)} = T_{(i,j)}^{(t)} + \frac{\alpha \Delta t}{\Delta r^2} [T_{(i-1,j)} - 2T_{(i,j)} + T_{(i+1,j)}]^t + \frac{\alpha \Delta t}{2r\Delta r} [T_{(i-1,j)} + T_{(i+1,j)}]^t + \frac{\alpha \Delta t}{\Delta h^2} [T_{(i,j-1)} - 2T_{(i,j)} + T_{(i,j+1)}]^t \quad (3)$$

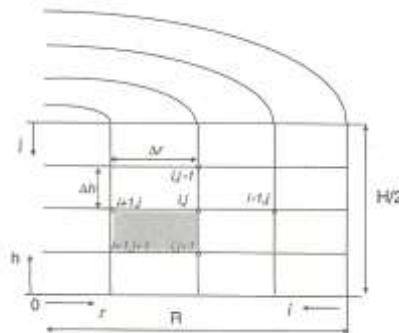


Figura 1 - Representação de um quarto do cilindro em plano cartesiano i e j .

Durante a esterilização, no enlatamento convencional, o alimento já envasado é colocado em autoclaves onde é realizado o tratamento térmico. Geralmente esse tratamento é constituído de duas etapas: aquecimento e resfriamento, como mostrado na Figura 2. No aquecimento, a condição de distribuição uniforme de temperatura no instante inicial geralmente prevalece e a maioria dos autores é unânime em adotar distribuição uniforme de temperatura no interior do recipiente para o instante inicial $t = 0$. Já no resfriamento, se a autoclave não é dotada de sistema de agitação dos recipientes, ou se o alimento em questão se apresenta no estado sólido, a hipótese de distribuição inicial de temperatura uniforme não é verdadeira. Dessa forma, não é possível o emprego da Equação (1). Em alguns casos, a temperatura do meio pode variar como na Figura 3. Ball e Olson (1957) classificaram este tipo de tratamento térmico como sendo um processo dividido. Neste caso, para $t = t_q$ a

temperatura inicial do alimento não é uniforme, ou seja, no instante $t = t_q - 1$ não se tem distribuição uniforme de temperatura.

A solução da equação diferencial parcial da condução quando não ocorre distribuição uniforme de temperatura, não é simples. Para um cilindro infinito, Carslaw e Jaeger (1959), admitindo Biot tendendo ao infinito, mostraram que a previsão da temperatura em função do tempo, quando a condição de distribuição uniforme de temperatura não é verificada, pode ser estimada por meio da Equação (4), na qual $f(r)$ representa uma função de r que fornece a distribuição inicial de temperatura. A integral contida na equação deve ser avaliada graficamente, tornando trabalhoso seu emprego.

$$T_1 - T = \frac{2}{r_m^2} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{J_0(\beta_j R)}{J_1^2(\beta_j)} \exp(-\beta_j^2 Fo) \int_0^{r_m} r f(r) J_0(\beta_j R) dr \quad (4)$$

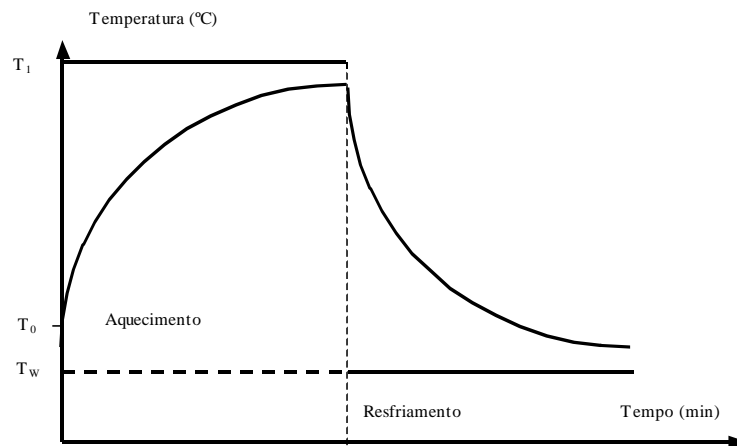


Figura 2 – Etapas do tratamento térmico realizado no enlatamento convencional.

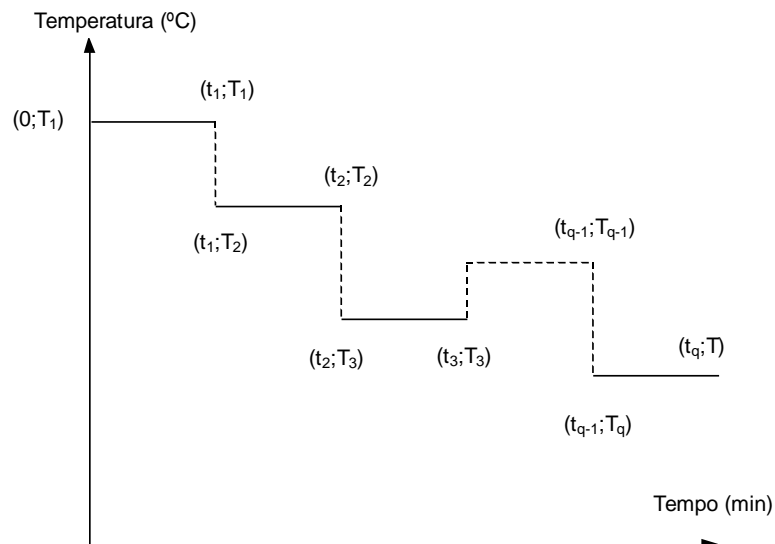


Figura 3 – Variação da temperatura do meio durante a etapa de resfriamento de um tratamento térmico

No caso, Hayakawa e Ball (1969) mostraram que é possível prever, com boa precisão, a temperatura (T) no interior do alimento para $t = t_q$ a partir das temperaturas do meio. Para tanto é necessário aplicar o teorema de Duhamel (1959), às equações desenvolvidas para a condição de distribuição uniforme de temperatura. A aplicação deste teorema resulta na Equação (5). Essa equação foi utilizada para as etapas de aquecimento e resfriamento do processo de esterilização.

$$T = T_q + \sum_{i=1}^{q-1} (T_i - T_0)u(L - L_i) - \sum_{i=1}^q (T_i - T_0)u(L - L_{i-1}) \quad (5)$$

Esterilização

A esterilização resulta na destruição, inativação ou remoção de toda forma de vida microbiana, ou seja, provoca nos microrganismos uma perda irreversível de reprodução no ambiente considerado. A destruição microbiana está associada com a estrutura de uma célula bacteriana. A alteração do estado físico do citoplasma, a inativação de enzimas ou o rompimento da membrana ou parede celular pode levar a morte da célula.

O padrão característico de morte é exponencial, ou seja, o decaimento da quantidade de concentração de microrganismos sobreviventes obedece a uma relação exponencial em função do tempo de contato com o agente em uso. Para fins práticos, principalmente para o cálculo da letalidade necessária a um processo de esterilização, se aceita a probabilidade de contaminação de 10^{-6} , ou seja, 1 falha a cada 10^6 operações (RODRIGUES, J.A.D. e RATUSZNEI, S.M., 2005).

O parâmetro tempo de redução decimal D é outra forma de expressar a cinética de morte celular e significa o tempo necessário para que uma população microbiana, exposta a uma determinada condição, tenha seu número de microrganismos viáveis diminuídos a 10 % do inicial. Além disso, Z é outro parâmetro cinético deve ser definido e representa o intervalo de temperatura no qual ocorre uma variação decimal no valor de D. Esses valores são definidos para um microrganismo de interesse numa dada temperatura de referência (T_{Ref}) e podem ser encontrados na literatura. A partir desses dois parâmetros, pode-se definir pela Equação (6) a velocidade específica de letalidade ou taxa de letalidade (TL).

$$TL = \frac{D(T_{Ref})}{D(T)} = 10^{\frac{T - T_{Ref}}{Z}} \quad (6)$$

Por fim, tem-se o valor de F_0 pela Equação (7) que representa o tempo de processo equivalente, em minutos, a uma determinada temperatura de referência para um valor de Z.

$$F_0 = \int_{t_0}^{t_f} TL \cdot dt = \int_{t_0}^{t_f} TL \cdot \Delta t \quad (7)$$

Material e Métodos

Fundamentos teóricos

A Equação (8) representa a fração mássica de cada componente presente no alimento de interesse, obtida a partir da massa presente em 100 g no produto alimentício.

$$W_{\text{componente}} = \frac{m_{\text{componente}}}{100} \quad (8)$$

Cada componente presente apresenta constantes, representadas na Tabela 1, que são utilizadas nos cálculos das propriedades (Choi e Okos, 1986).

Tabela 1 - Constantes para cálculo das propriedades do alimento.

Componente	Densidade			Calor Específico			Condutividade Térmica		
	b ₀	b ₁	b ₂	b ₀	b ₁	b ₂	b ₀	b ₁	b ₂
Proteína	1,33E+03	-5,18E-01		2,01E+00	1,21E-03	-1,31E-06	1,79E-01	1,20E-03	-2,72E-06
Gordura	9,26E+02	-4,18E-01		1,98E+00	1,47E-03	-4,80E-06	1,81E-01	-2,76E-03	-1,77E-07
Carboidrato	1,60E+03	-3,10E-02		1,55E+00	1,96E-03	-5,94E-06	2,01E-01	1,39E-03	-4,33E-06
Fibras	1,31E+03	-3,66E-01		1,85E+00	1,83E-03	-4,65E-06	1,83E-01	1,25E-03	-3,17E-06
Cinzas	2,42E+03	-2,81E-01		1,09E+00	1,89E-03	-3,68E-06	3,30E-01	1,40E-03	-2,91E-06
Água	9,97E+02	3,14E-03	-3,76E-03	4,18E+00	-9,09E-05	5,47E-06	5,71E-01	1,76E-03	-6,70E-06

A densidade, o calor específico e a condutividade térmica de cada componente são calculados da mesma forma, representados pelas Equações (9), (10) e (11), respectivamente, em que T é a temperatura em °C.

$$\rho_{componente} = b_0 + b_1 \cdot T + b_2 \cdot T^2 \quad (9)$$

$$c_{componente} = b_0 + b_1 \cdot T + b_2 \cdot T^2 \quad (10)$$

$$k_{componente} = b_0 + b_1 \cdot T + b_2 \cdot T^2 \quad (11)$$

A Equação (12) representa a fração volumétrica de cada componente presente no alimento.

$$v_{componente} = \frac{\frac{w_{componente}}{\rho_{componente}}}{\sum \left(\frac{w_{componente}}{\rho_{componente}} \right)} \quad (12)$$

As Equações (13), (14) e (15) representam a densidade, o calor específico e a condutividade térmica, respectivamente, do alimento.

$$\rho = \frac{1}{\sum \frac{w_{componente}}{\rho_{componente}}} \quad (13)$$

$$c = \sum (c_{componente} \cdot w_{componente}) \quad (14)$$

$$k = \sum (k_{componente} \cdot v_{componente}) \quad (15)$$

A Equação (16) resulta na difusividade térmica do alimento.

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot c \cdot 10^3} \quad (16)$$

O tempo de processamento e o adimensional de tempo calculado pelas Equações (17) e (18), respectivamente.

$$t^{i+1} = t^i + \Delta t \quad (17)$$

$$L = \frac{\alpha \cdot t}{S^2} \quad (18)$$

O fator de forma do recipiente plano é representado pela Equação (19), sendo metade da altura da placa e o adimensional da temperatura pela Equação (20).

$$S = \frac{l}{2} \quad (19)$$

$$u = 1,2732 \cdot \exp(-2,4674 \cdot L) - 0,4244 \cdot \exp(-22,207 \cdot L) + 0,2546 \cdot \exp(-61,685 \cdot L) \quad (20)$$

O fator de forma do recipiente cilíndrico é representado pela Equação (21) e o adimensional de temperatura é representado pela Equação (22).

$$S^2 = \frac{d^2}{\left(\frac{d}{l}\right)^2 + \left(\frac{\beta_1}{\lambda_1}\right)^2} \quad (21)$$

$$u = 2,03 \cdot \exp(-9,87 \cdot L) - 1,35 \cdot \exp(-38,8 \cdot L) + 1,09 \cdot \exp(-90,9 \cdot L) - 0,680 \cdot \exp(-34,6 \cdot L) + 0,452 \cdot \exp(63,5 \cdot L) - 0,363 \cdot \exp(-115,6 \cdot L) + 0,408 \cdot \exp(-84,0 \cdot L) - 0,271 \cdot \exp(-113,0 \cdot L) + 0,218 \cdot \exp(-165,0 \cdot L) \quad (22)$$

O fator de forma do recipiente esfera é representado pela Equação (23), sendo igual ao raio da esfera e o adimensional de temperatura é representado pela Equação (24).

$$S = r \quad (23)$$

$$u = 2,00 \cdot \exp(-9,86 \cdot L) - 2,00 \cdot \exp(-39,5 \cdot L) + 2,00 \cdot \exp(88,8 \cdot L) \quad (24)$$

A Regra do Trapézio é representada pela Equação (25).

$$I = h \left(\frac{f(x_0)}{2} + \sum_{i=1}^{m-1} f(x_i) + \frac{f(x_m)}{2} \right) \quad (25)$$

Memorial de Cálculo

Para solução do problema, foram adotadas as seguintes hipóteses:

- No instante inicial, a temperatura do alimento é uniforme.
- O mecanismo de transferência de calor é o de condução, com adoção de difusividades térmicas equivalentes para alimentos que apresentem outro mecanismo de transferência de calor. Esse modelo alcança desempenhos comparáveis aos demais modelos, porém com equações mais simples (LAROUSSE e BROWN, 1997).
- A temperatura da superfície do alimento em contato com a embalagem atinge instantaneamente a temperatura do meio e é homogênea durante todo o processamento térmico, ou seja, admite-se que o número de Biot tende a infinito ($Bi = \infty$).
- A determinação da difusividade térmica do alimento, a partir da curva de aquecimento do alimento, permite admitir que essa propriedade seja isotrópica e não varie com a temperatura empregada durante o tratamento térmico.

Dessa forma, o programa desenvolvido calculou o valor de F0 conforme o fluxograma representado na Figura 4, sendo que caso o valor do adimensional de temperatura fosse maior do que um, seria necessário considerar que o adimensional de temperatura fosse igual a um no cálculo da temperatura.

Procedimento de estudo

No programa desenvolvido utilizando-se a ferramenta de programação Visual Basic no Microsoft Excel 2010, são empregados três conjuntos de dados, o que caracteriza a transferência de calor no alimento, a embalagem e a cinética das transformações:

- Transferência de calor: número do alimento na Tabela TACO e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) ou a difusividade térmica do alimento ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), caso este valor seja conhecido.
- Embalagem: dimensões (m) do recipiente, sendo este placa plana, cilindro finito ou esférico.

- Cinética das transformações: T_{REF} , temperatura de referência ($^{\circ}C$) e valor Z do microrganismo ($^{\circ}C$).

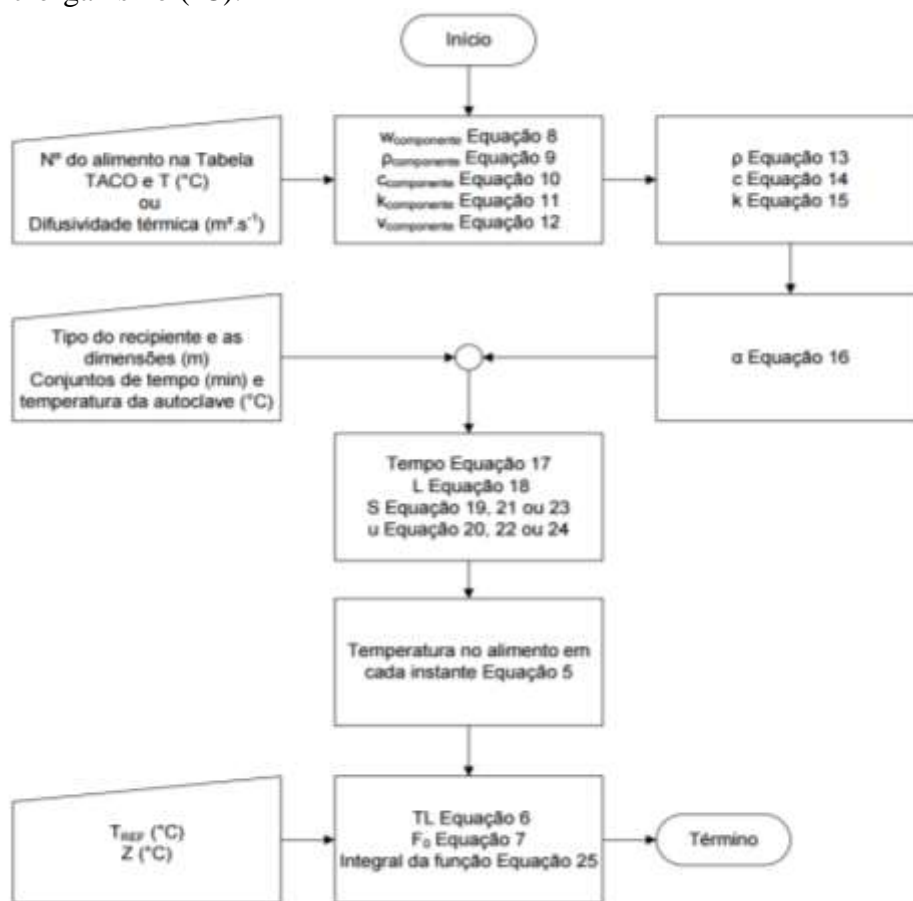


Figura 4 - Fluxograma para cálculo do valor de F_0 .

Os ensaios experimentais utilizaram-se recipientes cilíndricos contendo simulantes de alimentos, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Condições de processo dos ensaios realizados.

Ensaio	Produto	Dimensões de lata (mm)
1	bentonita 5%	100x110
2	bentonita 3%	75x90
3	água	100x110

A fim de obter o valor de F_0 para compará-lo com o experimental, os perfis de temperatura experimentais foram obtidos pelo trabalho “Comparação entre técnicas numéricas para a resolução do problema de transferência de calor em alimentos enlatados” (RODRIGUES et al., 1998). O tempo de redução decimal, valor D , foi definido como o tempo necessário para a redução de 90% da população inicial. A constante de resistência térmica, Z , foi então definida como o aumento da temperatura necessário para a redução de 90 % do valor D . Através do conceito de letalidade, primeiramente descrito por BIGELOW, é possível determinar o efeito global do processo térmico, cuja temperatura varia com o tempo, em termos de tempo equivalente de processo a uma temperatura de referência, em geral $121,1^{\circ}C$. Além disso, os valores das difusividades térmicas de cada simulante alimentício foram ajustados de forma a obter o melhor ajuste entre os perfis de temperatura do alimento experimental e do modelo.

Resultados e Discussão

A interface do programa desenvolvido utilizando-se a ferramenta de programação Visual Basic no Excel, além do conjunto de dados (transferência de calor no alimento, a embalagem e a cinética das transformações), contém seis entradas de valores para a temperatura da autoclave, seis para o tempo de processamento térmico e uma para a temperatura inicial do alimento, conforme a Figura 5.

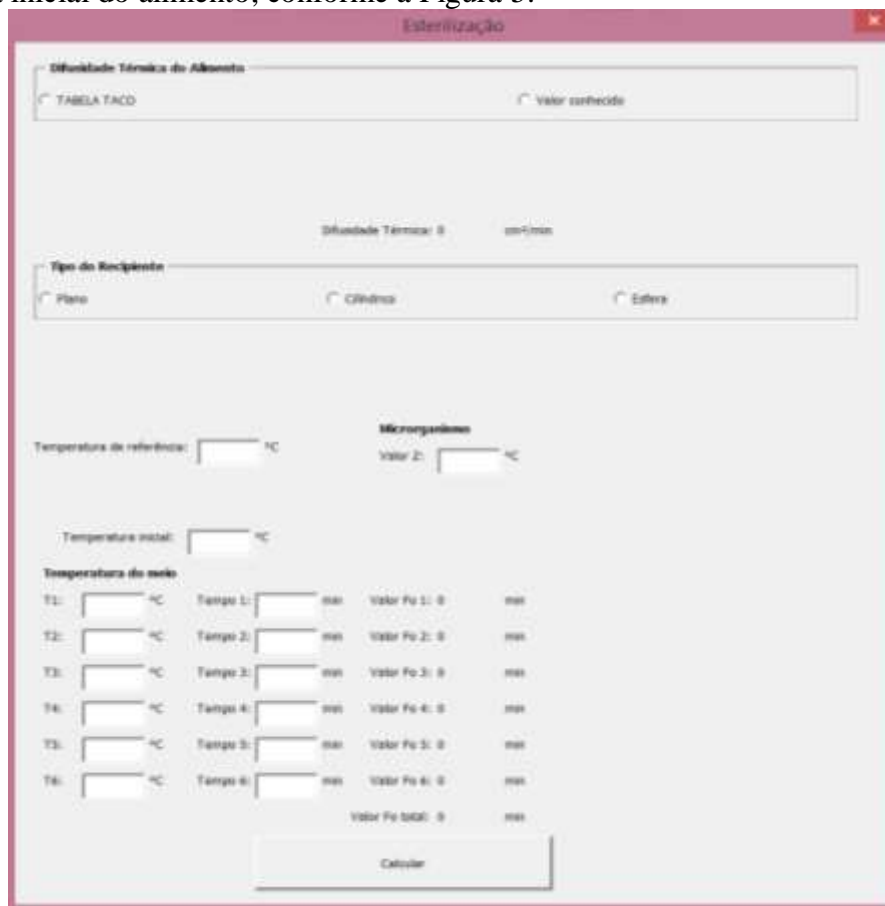


Figura 5 - Interface do programa para auxiliar na esterilização de alimentos enlatados.

Os perfis de temperatura do alimento foram obtidos no programa para os três ensaios a fim de comparar o ajuste do modelo utilizado com o experimental e os respectivos valores de F_0 , porém, anteriormente, foi necessário ajustar o valor da difusividade térmica para os diferentes simulantes de alimento, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados dos valores de difusividade térmica para os ensaios realizados.

Ensaio	Produto	Difusividade térmica ($\text{m}^2 \cdot \text{min}^{-1}$)
1	bentonita 5%	1,12E-05
2	bentonita 3%	2,86E-05
3	água	2,80E-04

Os valores de $F_{0\text{EXP}}$, $F_{0\text{MOD}}$ e dos erros dos três ensaios simulados estão representados na Tabela 4. Todos os valores $F_{0\text{MOD}}$ foram maiores do que os $F_{0\text{EXP}}$, portanto o programa conseguiu prever um tratamento térmico que garante a esterilização desejada, não ocorrendo um subprocessamento ($F_{0\text{EXP}} > F_{0\text{MOD}}$).

Os erros dos ensaios 1 e 3 foram iguais a 1%, ou seja, o modelo conseguiu prever bem a realidade. Porém, durante o ensaio 2, a temperatura da autoclave variou muito ao longo do tempo e como há apenas seis entradas de valores de temperatura no programa, o valor do erro obtido foi maior, igual a 24%.

Tabela 4 - Valores de F_0 obtidos pelo método experimental e pelo modelo do programa.

Ensaio	$F_{0\text{ EXP}}$ (min)	$F_{0\text{ MOD}}$ (min)	Erro (%)
1	6,56	6,63	1%
2	5,14	6,36	24%
3	10,40	10,46	1%

Observando-se as Figuras 6, 7 e 8, nota-se que o modelo utilizado no programa apresentam um bom desempenho na reprodução dos dados reais, tendo apenas um desvio maior durante o ensaio 2 como explicado anteriormente. Outro fator importante é que, nos ensaios 1 e 3, na porção do aquecimento em que a letalidade é maior, os dados reais e do modelo ficaram bem próximos.

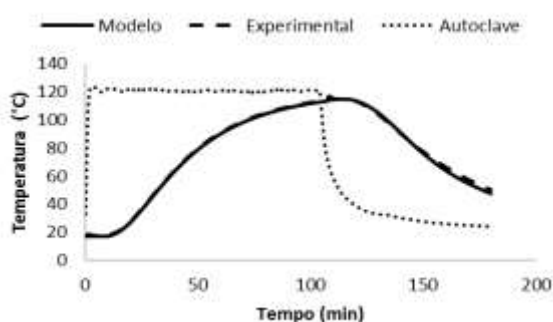


Figura 6 - Perfis de temperatura da autoclave e do produto (experimental e calculado pelo modelo) para o ensaio 1.

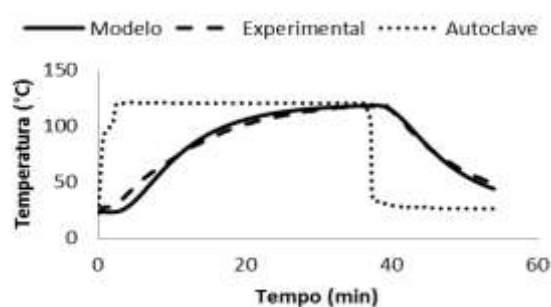


Figura 7 - Perfis de temperatura da autoclave e do produto (experimental e calculado pelo modelo) para o ensaio 2.

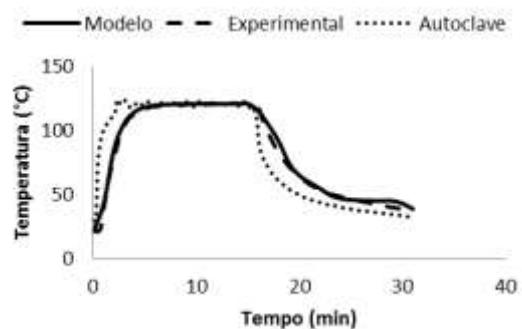


Figura 8 - Perfis de temperatura da autoclave e do produto (experimental e calculado pelo modelo) para o ensaio 3.

Conclusões

O programa desenvolvido a fim de auxiliar a etapa de determinação de tratamentos térmicos utilizando-se a ferramenta de programação Visual Basic no Excel aplicou as equações integradas de difusão do calor e o princípio de processo dividido para estimar a temperatura no ponto mais frio do produto em cada instante por equações admitindo a condução como o mecanismo de transferência de calor e a difusividade térmica do alimento constante.

Notou-se que o modelo matemático utilizado é adequado, pois o programa conseguiu prever o valor F_0 de forma satisfatória, uma vez que o perfil de temperatura do alimento

previsto teve bom ajuste com o perfil de temperatura do alimento obtido experimentalmente. No entanto, no ensaio 2, o erro entre o valor de F_{0EXP} e o F_{0MOD} foi igual a 24% devido à pequena quantidade de entrada de valores de tempo e temperatura da autoclave, porém o programa conseguiu prever um tratamento térmico que garante a esterilização desejada, não ocorrendo um subprocessamento.

A temperatura da autoclave não varia conforme a Figura 3 (modelo adotado para estimar a temperatura do produto), portanto aconselha-se que seja utilizada uma maior quantidade de entrada de valores de tempo e temperatura da autoclave no programa a fim de obter um bom ajuste entre os perfis de temperatura experimental e do modelo.

Referências Bibliográficas

- BALL, C.O. and OLSON, C.W.. **Sterilization in Food Technology: Theory, Practice and Calculation**. McGraw-Hill, New York, 1957.
- CARSLAW, H.S. and JAEGER, J.C. **Conduction of Heat in Solids**. 2nd ed. Oxford: Clarendon Press, 1959.
- CHEN, C.R. and RAMASWAMY, H. S.. Modeling and optimization of variable retort temperature (VRT) thermal processing using coupled neural networks and genetic algorithms. **Journal of Food Engineering**, 53, 209-220, 2002.
- DINCER, I. Heat transfer during heat sterilization and cooling processes of canned products. **Trends in Food Science & Technology**, 1998.
- DURANCE, T.D. Improving canned food quality with variable retort temperature processes. **Trends in Food Science & Technology**, 8, 113-118, 1997.
- HAYAKAWA, K and BALL, C.O. Charts for calculating average temperature of thermally conductive food. **Food Technology**, 24, 89, 1969.
- LEONHARDT, G.F. Estimation of the Central Temperature of Thermally Conductive Foods in Cylindrical and rectangular Cans During Heat Processing. **Journal Food Science**, 41, 685. 1976.
- LEONHARDT, G.F. Operações Unitárias da Indústria de Alimento – Enlatamento; sua Tecnologia e Engenharia. **Engenharia Química e de Alimentos da Escola de Engenharia Mauá**. 377p. /Apostila.
- NEWMAN, A. B.. Heating and cooling rectangular and cylindrical solids. **AB Newman - Industrial & Engineering Chemistry**, 545-548, 1936.
- RODRIGUES, J.A.D. e RATUSZNEI, S. M. Engenharia Bioquímica. **Engenharia Química e de Alimentos da Escola de Engenharia Mauá**. Capítulo 3 /Apostila, 2005.
- RODRIGUES, J.A.D.; SCHMIDT, F.L.; VITALI, A.A.; TEIXEIRA NETO, R.O.; TEIXEIRA, A.A.; GERMER, S.P.M. e SADAHIRA, M.S. Comparação entre técnicas numéricas para a resolução do problema de transferência de calor em alimentos enlatados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 18, 230-236, 1998.
- TEIXEIRA, A.A. and TUCKER, G.S. Online retort control in thermal sterilization of canned foods. **Food Control**. 13-20p.
- TEIXEIRA, A.A.; ZINMEISTER, G.E. and ZAHRADNIK, J.W. Computer simulation of variable retort control and container geometry as a possible means of improving thiamin retention in thermally processed foods. **Journal of Food Science**, 40, 656-659. 1975.
- ZANINI, K.R.P.; KUNIGK, L. e LEONHARDT, G.F. Contribuição ao emprego do modelo de difusão na otimização do processamento térmico de alimentos enlatados. **Acta Scientiarum. Technology**, 2011.