

RESFRIAMENTO DE FRUTAS VIA MÉTODO INTEGRAL BASEADO EM GALERKIN

Paulo de Morais Pessôa, e-mail¹: moraispessoa@ig.com.br
João Carlos Soares de Melo, e-mail²: jcarlosmequi@yahoo.com.br
Antonio Gilson Barbosa de Lima, e-mail²: gilson@dem.ufcg.edu.br
Josivanda Palmeira Gomes, e-mail¹: josivanda@gmail.com

¹Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Av. Aprígio Veloso, 82, Bodocongó, Campina Grande-PB, Brasil, CEP 58429-900

²Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica, Av. Aprígio Veloso, 82, Bodocongó, Campina Grande-PB, Brasil, CEP 58429-900

Resumo. *A técnica de refrigeração tem sido utilizada para a conservação de produtos hortifrutícolas por ser um recurso de baixo custo e muito eficaz na manutenção da qualidade das frutas e hortaliças; proporciona redução da atividade respiratória, retarda a atividade metabólica e inibe o crescimento microbiano. Vários pesquisadores têm desenvolvido trabalhos que apresentam modelos matemáticos analíticos e/ou empíricos para obter a cinética e o tempo de resfriamento de frutas com geometrias diferentes. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo simular o resfriamento de morango e limão Tahiti. Utilizou-se um modelo matemático de condução de calor transiente e sua solução analítica via método integral baseado em Galerkin. Resultados da cinética de resfriamento e distribuição de temperatura no interior das frutas são apresentados e analisados. Verificou-se que o morango apresentou menor tempo adimensional de resfriamento comparado com tempo requerido para resfriar o limão, visto que a relação área superficial/volume do morango é maior que a mesma relação para o limão.*

Palavras-chave: *modelagem matemática, resfriamento, conservação de alimentos, morango, limão tahiti.*

1. INTRODUÇÃO

A produção agrícola brasileira garante o abastecimento interno e atende ao mercado externo. Os diversos produtos colocam o país numa posição de destaque dentre os maiores produtores mundial. Com uma diversidade de frutas devido às condições climáticas e de relevo, o Brasil é o terceiro maior produtor desses alimentos.

Os produtos alimentícios de origem agrícola contribuem com parcela importante na balança comercial brasileira. O agronegócio atingiu uma posição importante no mundo, tanto que atualmente são comercializadas safras futuras na BMF – Bolsa de Mercadorias e Futuro. O Brasil produz grande variedade e qualidade de frutas, sendo um dos maiores produtores mundial de hortícolas (Tanabe e Cortez, 1998). Contudo, após a colheita, grande parte da produção é perdida devido à falta de tratamento e manuseio adequados, vulnerabilidade ao ataque de microrganismos e falta de estocagem frigorífica (Pinto e Jorge, 2007). As perdas pós-colheita variam entre 30 e 50% ou seja, aproximadamente 15 milhões de toneladas descartadas anualmente (Di Rienzo, 2001). Essas perdas ocorrem em toda a cadeia produtiva, podendo ser avaliada em cada elo ou nos canais de comercialização (ABIA, 1996, citado por Barbosa, 2006). As conseqüências dessas perdas tanto são de ordem econômica quanto sociais e influenciam no comportamento de mercado contribuindo nas mudanças dos parâmetros econômicos e no desequilíbrio do mercado, provocando, dessa forma, a elevação de preço do produto para o consumidor final (Vilela et al., 2003).

O limão é uma excelente fonte de vitaminas C, vitamina A e vitamina do complexo B, além de sais minerais, como cálcio, fósforo e ferro. É produzido na maioria dos países e o Brasil é o quarto maior produtor mundial. O limão Tahiti é uma variedade que tem origem na Califórnia, sendo atualmente produzido nas três Américas.

O morango é uma fruta do grupo dos pequenos frutos. A conservação pós-colheita destes frutos é relativamente curta, devido à sua alta atividade respiratória e sua grande área de exposição, que facilitam a desidratação e o ataque de fungos. É constituído principalmente de carboidratos, fibra alimentar, cálcio, ferro, sódio e vitamina C (Italbraz, 2008).

A produção de alimentos do mundo atingiu valores expressivos, contudo, essa produção não tem atendido a toda população do planeta; as perdas pós-colheita contribuem com o aumento do custo desses produtos e o desabastecimento.

Os produtos agrícolas em geral, por serem materiais biológicos, sofrem decomposição após determinado prazo pós-colheita; dependendo das características, alguns são mais vulneráveis que outros. Para garantir a oferta por mais tempo, o armazenamento é um recurso utilizado. As técnicas de armazenamento dependem do mercado. As frutas podem ser

comercializadas na forma in natura ou na forma de sucos concentrados, dessa forma, o armazenamento pode ser feito sob a utilização de técnicas distintas. O armazenamento sob refrigeração é o método mais econômico para o armazenamento prolongado de frutas e hortaliças frescas (Chitarra e Chitarra, 2005).

A utilização de resfriamento em produtos hortifrutícolas é de grande interesse prático e por isto vários pesquisadores têm procurado estudar este problema físico de forma experimental e teórica. Matematicamente, porém esse tipo de problema apresenta uma não linearidade matemática, que limita a obtenção de soluções exatas da equação que descreve o problema. Na impossibilidade de soluções exatas, métodos aproximados semi-analíticos ou numéricos têm sido utilizados para simular o comportamento da temperatura de frutas durante sua conservação a frio. Apesar das limitações, para casos onde as propriedades termofísicas são constantes, soluções analíticas ainda apresentam sua importância, principalmente, quando se trata de geometrias não convencionais, que têm sido pouco estudadas.

Neste sentido os objetivos deste trabalho são: modelar matematicamente o resfriamento de morango e limão; simular a cinética de resfriamento e distribuição de temperatura no interior das frutas; avaliar o efeito da relação área/volume no tempo de resfriamento das frutas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Modelagem Matemática

Para descrever o transporte de calor no interior de sólidos, considere a equação da difusão de calor no regime transiente, sem geração de energia (Lei de Fourier), dada por:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) \quad (1)$$

onde ρ é densidade, C_p é calor específico, k condutividade térmica e T temperatura.

A solução da Eq. (1), de acordo com Payne et al. (1986), pode ser dada por:

$$T = \sum_{n=1}^N C_n \psi_n e^{-\gamma_n t} + T_s \quad (2)$$

Onde γ_n , C_n , ρ , C_p , T_s e k constantes.

A função ψ_n será obtida como uma combinação linear de um conjunto de funções (Farias, 2002) conforme Eq. (3). Seus membros são linearmente independentes, de forma que cada membro satisfaça às condições de contorno homogêneas.

$$\psi_n = \sum_{j=1}^N d_{nj} f_j \quad (3)$$

Na Eq. (3), f_j é um elemento de um conjunto de funções de base, e d_{nj} são constantes a serem determinadas.

A função f_j é denominada de função de Galerkin; sendo obtida pela multiplicação de funções φ_n , com $n = 1, 2, 3, \dots, N$, por um elemento de um conjunto completo de funções. A função φ_n , que define o contorno do sólido, é escolhida de forma que as condições de contorno homogêneas sejam satisfeitas.

Maiores detalhes desta formulação matemática podem ser encontrados em Farias (2002) e Lima et al. (2004).

2.2 Aplicação ao resfriamento de frutas

2.2.1 Morango

Para a simulação do resfriamento do morango considerou-se o fruto como a forma de um cone de revolução conforme Fig. (1).

O contorno do cone é definido por duas funções $\varphi_1 = \left(h - \frac{h}{R} r - z \right)$ e $\varphi_2 = z$ de tal forma que o produto delas é dado pela Eq. (4).

$$\left(h - \frac{h}{R} r - z \right) z \quad (4)$$

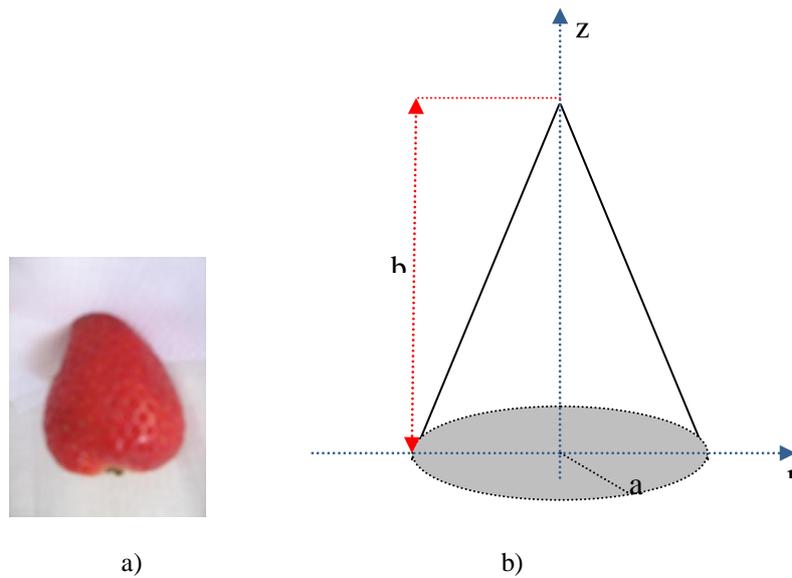


Figura 1 – Morango e sua representação geométrica.

O volume do sólido ilustrado na Fig. (1), é dado pela Eq. (5), como segue:

$$V = \int_0^{2\pi} \int_0^R \int_0^{(h-\frac{h}{R}r)} r dz dr d\theta = \frac{1}{3} \pi R^2 h \quad (5)$$

e sua área superficial será:

$$A = \pi a (a + \sqrt{a^2 + b^2}) \quad (6)$$

Para completar a modelagem matemática foram usadas as seguintes condições inicial e de contorno:

$$T(r, z, t = 0) = T_0 \quad (7)$$

$$T\left[r, z = \left(h - \frac{h}{R}r\right), t\right] = T_e \quad (8)$$

2.2.2 Limão

Para o estudo teórico do limão considerou-se o fruto como sendo um elipsóide de revolução (esferóide prolato) conforme Fig. (2).

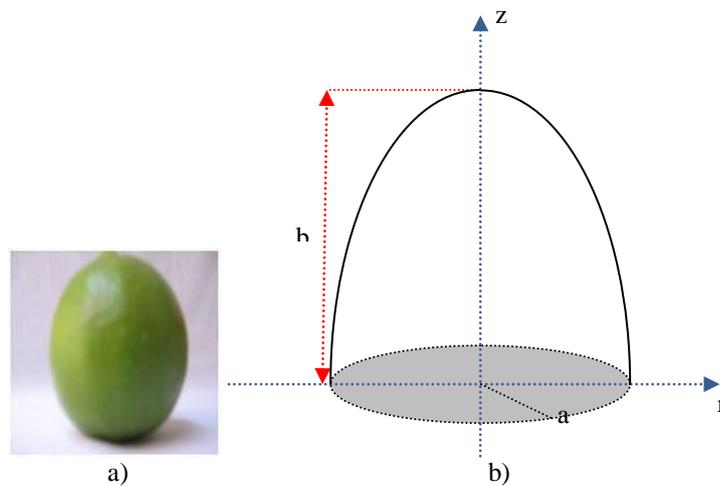


Figura 2 – Limão e sua representação geométrica.

O contorno do esferóide é definido por:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1 \quad (9)$$

O volume total de um elipsóide, é dado pela Eq. (10) a seguir:

$$V = 2 \int_0^{2\pi} \int_0^a \int_0^{b\sqrt{1-\left(\frac{r}{a}\right)^2}} r dz dr d\theta = \frac{4}{3} \pi a^2 b \quad (10)$$

e sua área superficial será:

$$A = 2\pi ab \left\{ \frac{a}{b} + \frac{\arcsen\left[\sqrt{1-\left(\frac{a}{b}\right)^2}\right]}{\sqrt{1-\left(\frac{a}{b}\right)^2}} \right\} \quad (11)$$

Para completar a modelagem matemática foram usadas as seguintes condições inicial de contorno:

$$T(r, z, t = 0) = T_0 \quad (12)$$

$$T\left(r, z = b\sqrt{1-\left(\frac{r}{a}\right)^2}, t\right) = T_e \quad (13)$$

2.2.3 Propriedades termofísicas

O conhecimento das propriedades termofísicas é de grande importância na análise da transferência de calor. Foram usadas as propriedades de transporte (condutividade térmica, difusividade térmica) e propriedades de equilíbrio ou termodinâmicas (densidade, calor específico). A intensidade dessas propriedades varia de acordo com o produto em estudo e está relacionada à estrutura física do material, ou seja, depende do estado físico em que a matéria se encontra (Incropera e De Witt, 1998).

Os valores das propriedades termofísicas das frutas, usadas neste trabalho, encontram-se na Tab. (1).

Tabela 1 – Dados utilizados na simulação do resfriamento das frutas.

Propriedades termofísicas	Morango Camarosa	Limão Tahiti	Fonte
Condutividade térmica (k) em W/m.°C	0,462	0,525	Ashrae (1998)
Calor específico (C _p) em J/kg.°C	3852,04	3852,04	
Densidade (ρ) em kg/m ³	900	930	

A determinação dos eixos maior e menor do morango e do limão foi feita através da medição com um paquímetro digital. Foram medidos os três eixos ortogonais: longitudinal, intermediário e o eixo menor. O valor do eixo maior da fruta corresponde à média aritmética da medida do eixo longitudinal de todos os frutos da amostra de cada uma das frutas objeto do estudo. A medida do eixo menor foi obtida através da média aritmética das medidas dos eixos intermediário e eixo menor de todos os representantes da amostra. Os valores referentes aos cálculos das dimensões encontram-se na Tab. (2).

Os morangos da variedade Camarosa assim como os limões Tahiti foram adquiridos na feira livre da cidade de Goiana, estado de Pernambuco.

Tabela2 – Dimensões das frutas

Medida	Morango Camarosa	Limão Tahiti	Fonte
Eixo menor da fruta (a)	1,38	2,43	Determinados experimentalmente
Eixo maior da fruta (b)	3,43	2,69	

Para a simulação do resfriamento das frutas, realizada no Laboratório Computacional de Térmica e Fluidos, LCTF, da Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica do CCT/UFPG, foi desenvolvido um código computacional na plataforma Mathematica[®] 7.0. A temperatura inicial do fruto e temperatura do ar de resfriamento para o morango e o limão, foram $T_0 = 27,6^\circ\text{C}$ e $T_e = 7,0^\circ\text{C}$, respectivamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura (3), tem-se as curvas que representam a temperatura média das duas frutas, enquanto que na Figura (4) estão representadas as curvas do resfriamento no centro de cada uma das frutas estudadas; os dados estão plotados em

função do número de Fourier (Fo). Observa-se que a temperatura adimensional média das frutas decresce rapidamente no início do processo. Nota-se que a temperatura adimensional média decresce mais rapidamente que no centro das frutas, cujo comportamento é mais suave, ou seja, cada uma das duas frutas atinge, em média, a temperatura do meio de resfriamento mais rapidamente, enquanto o resfriamento no centro das frutas é mais demorado.

Pode-se ainda observar, a partir das cinéticas de resfriamento na Fig. (4), que a temperatura do centro do morango decai mais rapidamente que a temperatura adimensional do limão, isto é, o morango é resfriado em menor tempo adimensional que o limão. Verificou-se que o morango apresenta área e volume menores que as mesmas grandezas do limão e sua relação A/V é maior, por isto, resfria mais rápido. Esta observação também foi retratada por Teruel et. al. (2001) e Farias (2002). Nesse trabalho, os valores da relação área/volume (A/V) encontrados para as frutas foi de 3,21791 e 1,19559 para o morango e limão, respectivamente.

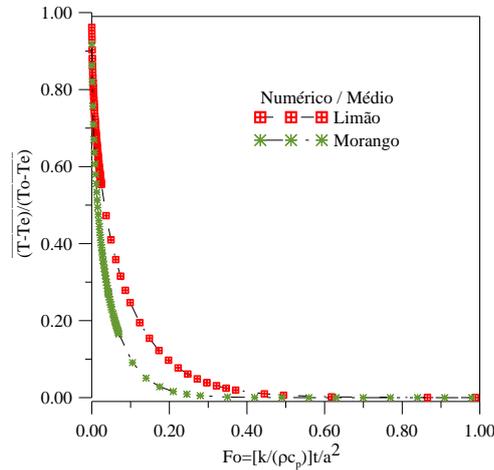


Figura 3- Comportamento da temperatura adimensional média das frutas em função do número de Fourier.

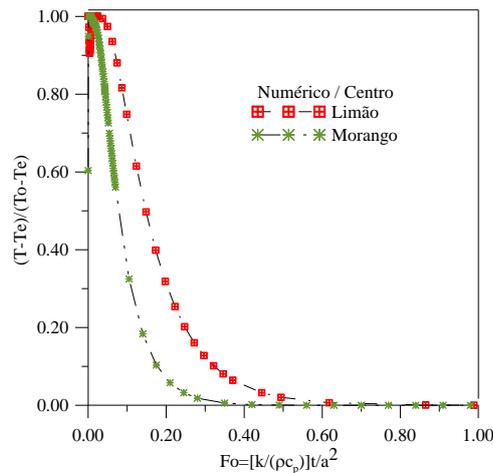


Figura 4- Comportamento da temperatura adimensional central das frutas em Função do número de Fourier.

A Figura (5) representa a distribuição da temperatura adimensional dentro do morango nos seguintes intervalos de tempo: 40s, 68s, 90s e 100s. Observa-se, que a distribuição de temperatura no interior do morango, em todos os instantes verificados, ocorre de forma não homogênea em toda a fruta. O resfriamento ocorre da superfície para o centro do morango por isso, o resfriamento na superfície da fruta ocorre em menor tempo que no seu interior.

Como o comportamento da distribuição de temperatura de resfriamento do morango é não homogêneo as extremidades da fruta ficarão submetidas a maior tempo de exposição ao frio e conseqüentemente a qualidade da fruta, nessa região, poderá ser comprometida. Analisando-se a Fig. (5a), nota-se que o tempo de resfriamento de 40s não foi suficiente para a temperatura do centro do morango atingir 7°C, ao contrário, no seu centro a temperatura ainda continua inalterada (T = 27,6°C). Entretanto, na região próxima a superfície a curva que representa a temperatura adimensional T* = 0,20 equivalente na escala real a 11°C.

Na Fig. (5b), verifica-se que o intervalo de tempo de 68s, assim como, na Fig. (5a), também não foi suficiente para resfriar por completo o morango. No centro da fruta (r = 0, z = 1,14333) T* = 0,70, que equivale a um temperatura real de 21°C no entanto, pode-se observar que a região de cor vermelha aumentou com relação à Fig. (5a) confirmando assim, que o processo de resfriamento evolui no decorrer do tempo. Com uma variação no tempo de 28s tem-se uma diminuição da temperatura do centro do morango em torno de 6°C.

A temperatura do centro do morango nos primeiros 90s diminuiu 8,6°C, enquanto que entre $t = 90s$ e $t = 100s$ esse resfriamento foi de 2°C.

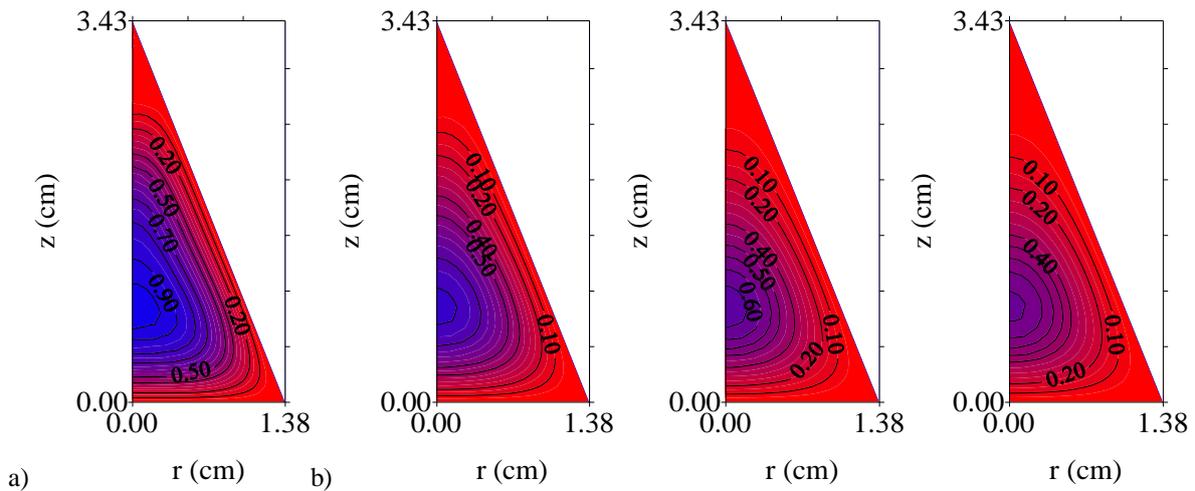


Figura 5 - Distribuição da temperatura adimensional dentro do morango em dois intervalos de tempo diferentes: a) $t = 40s$ ($Fo = 0,02799$), b) $t = 68s$ ($Fo = 0,04759$), c) $t = 90s$ ($Fo = 0,06298$) e d) $t = 100s$ ($Fo = 0,06998$).

Na Fig. (6) observa-se a distribuição de temperatura adimensional dentro do limão em quatro intervalos de tempo diferentes: 150s, 350s, 500s e 1000s. Nos quatro intervalos de tempo, a distribuição de temperatura adimensional do limão, durante o resfriamento, ocorreu de forma homogênea na direção angular. A temperatura varia apenas na direção radial. Dessa forma, os problemas causados pelo resfriamento excessivo localizado na extremidade do limão não existirão, se comparado o morango.

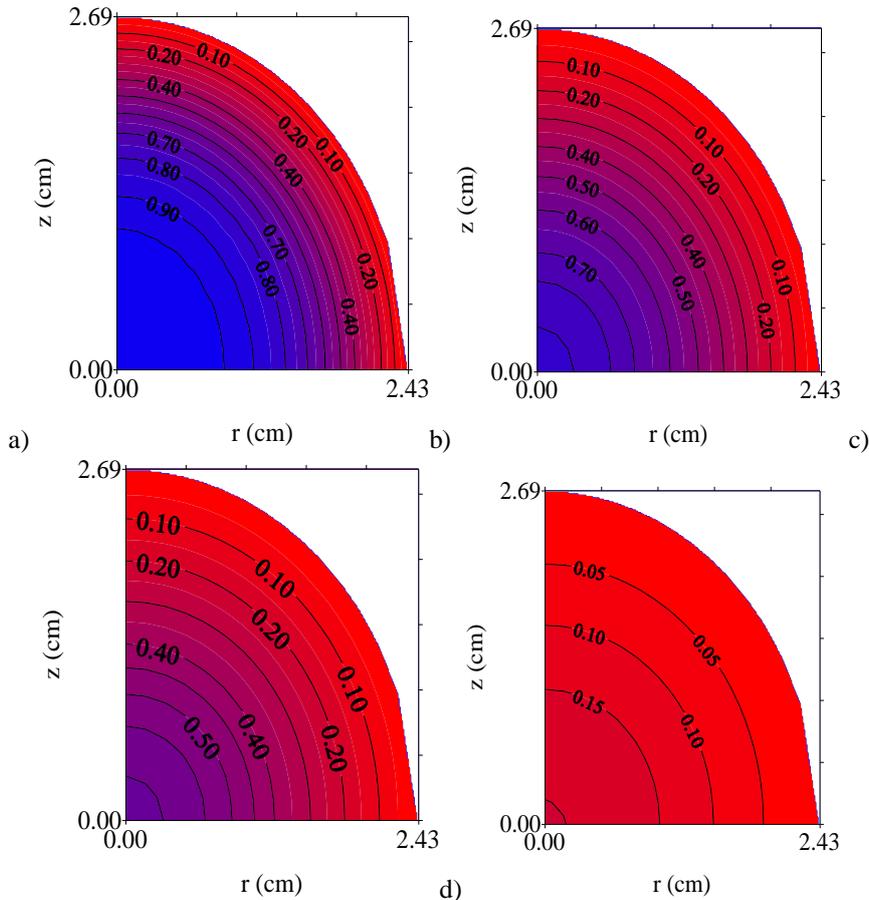


Figura 7 - Distribuição da temperatura adimensional dentro do limão em dois intervalos de tempo diferentes: a) $t = 150s$ ($Fo = 0,0370748$), b) $t = 350s$ ($Fo = 0,0865079$), c) $t = 500s$ ($Fo = 0,123583$) e d) $t = 1000s$ ($Fo = 0,247165$).

No resfriamento do limão no tempo $t = 150s$, conforme a Fig. (6a), a superfície da fruta, em contato com o ambiente, está na temperatura desejada ($7^{\circ}C$), enquanto que o seu centro continua com a temperatura inicial ($T = 27,6^{\circ}C$). Existe uma diferença de temperatura no interior do limão. Comprovando que está acontecendo o processo de resfriamento da superfície para o centro do limão. O tempo $t = 350s$, Fig. (6b), também foi insuficiente para resfriar completamente o limão, contudo, já existe diminuição da temperatura do seu centro, cuja isoterma 0,70 demonstra que ocorreu uma redução de $6,6^{\circ}C$ com relação à temperatura inicial.

O centro do limão atingiu a temperatura de $17^{\circ}C$ em $t = 500s$, conforme pode ser observado na Fig. (7c), esse resultado demonstra que no intervalo de 150s (entre $t = 350s$ e $t = 500s$) tenha ocorrido um resfriamento de $4^{\circ}C$ no seu centro. Observando a Fig. (7c), aproximadamente na metade do raio, a temperatura adimensional é 0,40, enquanto que na mesma região da Fig. (7b), $T^* = 0,60$, portanto, entre esses tempos ocorreu um resfriamento, nessa região do interior do limão, de $4^{\circ}C$. De acordo com a Fig. (7c), o tempo de 500s não foi suficiente para resfriar completamente o limão. Já na Fig. (7d), percebe-se que no tempo $t = 1000s$, a temperatura do centro do limão é de $10^{\circ}C$, esse resultado indica que o resfriamento do limão está próximo de ser concluído.

Comparar resultados experimentais de resfriamento é bastante difícil, pois depende de vários fatores tais como: natureza do fruto, dimensões, condições ambientais, etc., contudo para se ter uma idéia, a Tabela (3) sumariza dados de tempo de resfriamento de alguns frutos. Como se pode ver, por comparação com os resultados obtidos neste trabalho, existe uma diferença razoável nos tempos de resfriamento. Isto pode ser atribuído ao fato de que se utiliza neste trabalho uma condição de contorno muito severa que na prática só se dá para o caso de resfriamento em nitrogênio líquido, por exemplo, onde a temperatura da superfície do material entra em equilíbrio instantaneamente com o ambiente de refrigeração, como também as condições experimentais das pesquisas reportadas na literatura, que reduz sensivelmente o coeficiente de transferência de calor.

Tabela 3- Tempo de resfriamento para várias frutas

Produto	Condições ambientais				Tempo total de resfriamento (min)	Tipo de processo	Fonte
	T_i ($^{\circ}C$)	T_f ($^{\circ}C$)	T_e ($^{\circ}C$)	UR (%)			
Banana**	27,6	7,0	7,0	89,90	200	Ar	Teruel (2001)
Laranja**	25,2	1,0	1,0	88,14	200	Ar	Teruel (2001)
Figo*	19	1,5	0,0	75,0	100	Ar forçado	Amendola (2009)
Morango**	17	1,0	-0,3	87,4	120	Ar	Ferrua (2009)
Acerola	25,1	1,0	1,0	----	20	Água gelada	Teruel (2004)
Ameixa					80		
Goiaba					100		
Laranja					100		
Lima					50		
Manga					100		
Melão					>180		

* Caixa de madeira ** Caixa plástica

4. CONCLUSÕES

Baseando-se nos resultados obtidos pode-se concluir que:

- A temperatura adimensional média do morango e do limão é atingida mais rapidamente que a temperatura no centro das frutas.
- O tempo de resfriamento para o morango foi 600s e para o limão foi 4000s, decorrente relação área superficial/volume do morango (3,21791) ser maior que a mesma relação do limão, (1,19559).
- A distribuição de temperatura no limão ocorre de forma homogênea na direção angular, enquanto que a distribuição de temperatura do morango varia nesta direção, com a extremidade (ponta) sentindo o efeito da baixa temperatura com maior intensidade.
- A temperatura no centro das frutas após 500s foi $7,12^{\circ}C$ e $19,67^{\circ}C$, morango limão, respectivamente. Observa-se que nesse intervalo de tempo, o morango se aproxima da temperatura de resfriamento, e que esse tempo, foi insuficiente para que o limão atingisse a temperatura desejada.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES, FINEP, PETROBRAS, JBR Engenharia e Rede de Pesquisa Cooperativa em Modelagem Computacional pelo auxílio financeiro.

6. REFERÊNCIAS

- ABIA.. Sistema agroalimentar. Indústria alimentar. São Paulo, ABIA. 1996, 81p.
- Amendola, M.; Sarria, S.D.; Rabello, A.A. Determinação do coeficiente convectivo de transferência de calor de figos submetidos ao resfriamento rápido. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v. 13, n. 2, p. 176-182, 2009.
- Barbosa, J.A. Procedência, qualidade e perdas pós-colheita de frutos tropicais no mercado atacadista da empresa de abastecimento e serviços agrícolas de Campina Grande-PB. 2006. 243p. Tese (Doutorado em Agronomia). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Campus Areia-PB.
- Chitarra, M.I.F.; Chitarra, A.B. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2 ed. Lavras: UFLA, 2005, 785p.
- Di Rienzo, C. A importância das câmaras frias na hortifruticultura. Tecnologia da Refrigeração, São Paulo, n. 5, p. 6-22, 2001.
- Farias, N.F. Secagem de sólidos esferoidais usando o método de Galerkin. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Departamento de Engenharia Mecânica, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 2002, 65p.
- Lima, D. R.; Farias, S. N.; Lima, A. G. B. . Mass transfer in spheroids using the Galerkin method. Brazilian Journal of Chemical Engineering, Campinas-Brazil, v. 21, n. 04, p. 667-680, 2004.
- Ferrua, M.J.; Singh, R.P. Design guidelines for the forced-air cooling process os strawberries. International Journal of refrigeration. n. 32, p. 932-1943, 2009.
- Ferrua, M.J.; Singh, R.P. Modeling the forced-air cooling process of fresh strawberry packages, Part III: Experimental validation of the energy model. International Journal of Refrigeration, n. 32, p.359-368, 2009.
- Incropera, F.P.; DE Witt, P. Fundamentals of heat and mass transfer. New York: John Wiley & Sons, 1998, 455p.
- ITALBRAZ. Disponível em:< <http://italbraz.com.br>> acesso em: 27 de janeiro de 2010.
- Payne, F.R.; Corduneanu, C.C.; Haji-Shikh, A.; Huang, T. Integral methods in science and engineering. Hemisphere Publishing Corporation, New York, USA, Chapter: On solution of parabolic partial differential equations using Galerkin functions, 1986, p. 467-479.
- Pinto, L.C.B; Jorge, J.T. Utilização de 1-metilciclopropeno e resfriamento rápido na conservação de pêssegos. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 238-246, jan./abr. 2007.
- Tanabe, C.S.; Cortez, L.A.B. Perspectivas da cadeia do frio para frutas e hortaliças no Brasil. In: Congresso de Ar-Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação do Mercosul, Porto Alegre. 1998.
- Teruel, B.; Cortez, L.A.; Leal, P.; Lima, A.G.B. Estudo teórico do resfriamento com ar forçado de frutas de geometrias diferentes. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 21, n. 2, p. 228-235, 2001.
- Teruel, B.; Kieckbusch, T.; Cortez, L. Cooling parameters for fruits and vegetables of different sizes in a hydrocooling system. Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.), v.61, n.6, p.655-658, Nov./Dec. 2004
- Vilela, N.J. Lana, M.M., Nascimento, E.F.; Nozomu, M. O peso da perda de alimentos para a sociedade: o caso das hortaliças. Hortic. Bras., v. 21, n. 2, p. 142-144. ISSN 0102. Apr./June 2003.

COOLING OF FRUIT VIA GALERKIN BASED INTEGRAL METHOD

Paulo de Morais Pessôa, e-mail¹: moraispessoa@ig.com.br

João Carlos Soares de Melo, e-mail²: jcarlosmequi@yahoo.com.br

Antonio Gilson Barbosa de Lima, e-mail²: gilson@dem.ufcg.edu.br

Josivanda Palmeira Gomes, e-mail¹: josivanda@gmail.com

¹Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Av. Aprígio Veloso, 82, Bodocongó, Campina Grande-PB, Brasil, CEP 58429-900

²Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica, Av. Aprígio Veloso, 82, Bodocongó, Campina Grande-PB, Brasil, CEP 58429-900

Abstract. *The cooling technique has been used for the storage of fresh produce to be a resource of low cost and very effective in maintaining the quality of fruit and vegetables, provides a reduction in respiratory activity, decrease the metabolic activity and inhibits microbial growth. Several researchers have conducted studies presenting analytical mathematical models and / or empirical for obtain the cooling kinetic and cooling time for fruits with different geometries. Thus, this work aims to simulate the cooling of strawberry and Tahiti lemon. We used a mathematical model of transient heat conduction and its analytical solution via Galerkin based integral method. Results of cooling kinetic and temperature distribution inside the fruit are presented and analyzed. It was found that the strawberry has lower dimensionless cooling time compared with time required to cool the lemon, due to the surface area / volume relationships of strawberries to be more than to the lemon*

Keywords: *mathematical modeling, cooling, food preservation, strawberry, tahiti lemon.*