

## **PRODUÇÃO DE MALTE DE NOZES DE MACADÂMIA E MODELAGEM MATEMÁTICA DA SUA SECAGEM POR CONVECÇÃO NATURAL**

L.V. MARIM<sup>1\*</sup>, F. M. R. SILVA<sup>2</sup>, D. J. M. SARTORI<sup>3</sup> e L. ARRIECHE<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup> Bolsista PIBIC, Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharias e Tecnologia

<sup>2</sup> Bolsista PIVIC, Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharias e Tecnologia

<sup>3</sup> Professor, Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Química

<sup>4</sup> Professor, Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharias e Tecnologia

\*email: layravalani@gmail.com

### **RESUMO**

O produto da germinação interrompida de uma semente seguido de secagem é chamado de malte. Esta pesquisa contemplou a produção de malte de sementes de macadâmia verdes e maduras, via germinação em sacola plástica, algodão hidrófilo e areia autoclavada. A cada teste germinativo foi associado um método de quebra de dormência e maceração. As sementes germinaram por 30 dias e, em função das que brotaram, foi calculado o Índice Germinativo. O maior Índice obtido foi de 13,64%, referentes a sementes maduras sem quebra de dormência e maceração, germinadas em areia autoclavada. As amêndoas foram extraídas da casca e congeladas a -18°C para posterior etapa de secagem. A secagem é fundamental na produção e na conservação das qualidades nutricionais de produtos agrícolas. Assim, foi abordada a modelagem matemática da secagem, por convecção natural, de nozes de macadâmias maltadas. Por meio de balanços de massa e energia em coordenadas esféricas, foram desenvolvidos modelos para simular os perfis de temperatura e umidade. As equações que representaram os fenômenos de transferência de calor e de massa foram obtidas a partir do modelo de Fourier e de Fick e foram solucionadas com o auxílio do programa Matlab<sup>®</sup> e com a utilização dos métodos de diferenças finitas e de RungeKutta.

### **1 INTRODUÇÃO**

No Brasil, a região sudeste é a principal produtora de macadâmia, sendo os estados de maior produção São Paulo e Espírito Santo (PENONI, 2011).

Com esta disponibilidade em evidência, procurou-se desenvolver o malte dessa noz a partir de um ambiente de crescimento asséptico, de modo que esse malte posteriormente possa ser empregado na indústria alimentícia.

O processo de obtenção do malte é denominado maltagem. A semente é

submetida a um ambiente artificial de germinação e posterior secagem controlada.

A secagem é um dos processos mais importantes quando se trata de processamento de alimentos e estocagem de grãos. Esse processo consiste na transferência parcial de líquido (geralmente água) de um sólido. O processo de secagem pode ser explicado pela transferência de umidade para o ar de secagem causado por uma força motriz, normalmente por diferença de temperatura, pressão ou concentração (FORTES, 1978).

O objetivo principal da secagem é aumentar a vida útil dos alimentos. A redução do conteúdo de água diminui a atividade

enzimática, reduzindo assim o crescimento de microrganismos e a progressão de reações químicas indesejáveis. Porém, dependendo da forma de como o processo é conduzido, a secagem de produtos alimentícios pode causar transformações em diferentes atributos de qualidade, como escurecimento, encolhimento e perda de nutrientes. As composições dos alimentos são facilmente alteradas em secagens que utilizam temperaturas altas, resultando em deterioração na qualidade do produto (XINGUO, J., PETER, J. e SHANE, 1990).

O processo de secagem também pode ser usado como pré-tratamento de alimentos. Algumas operações de separação como moagem ou mistura se tornam mais simples quando a umidade do material é reduzida. Do ponto de vista econômico, a secagem possui uma função muito importante. Como consequência da perda de água, alimentos secos são mais leves e menos volumosos quando comparados com os naturais, o que facilita o acondicionamento e transporte (DELGADO, J. M. P. Q. e BARBOSA, 2014).

Assim, este trabalho teve como objetivo o estudo da produção do malte de macadâmia e a modelagem matemática do seu processo de secagem.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Preparação das amostras para a produção do malte

Foram utilizadas sementes de macadâmia verdes e maduras *in natura*, referentes às colheitas dos anos de 2013/2014, cedidas pela Cooperativa Agroindustrial dos Produtores de Noz Macadâmia – COOPMAC localizada na cidade de São Mateus, Espírito Santo.

As sementes foram lavadas manualmente e imersas em solução de álcool etílico 70% por 10 minutos. Em seguida, o carpelo de todas as sementes foi retirado com o auxílio de uma faca, ficando a semente

apenas com a casca e, no seu interior, a amêndoa. Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Eficiência Energética I do Prédio de Pós-Graduação em Energia – UFES (Campus Ceunes).

As sementes foram separadas em dois grandes grupos: sementes verdes (SV) e sementes maduras (SM). Cada grupo foi subdividido em dois pequenos grupos: sementes com quebra de dormência (CQD) e sem quebra de dormência (SQD). Cada processo de quebra de dormência foi respectivamente relacionado a um tempo de maceração e posterior germinação, conforme mostra a Tabela 1.

**Tabela 1** – Relação entre quebra de dormência e germinação.

Quebra de Dormência	Maceração (horas)	Germinação (ambiente de crescimento)
Rachadura na casca	96	Sacola plástica transparente
Imersão em água em torno de 100 °C até atingir temperatura ambiente	24	Algodão
Imersão em água em torno de 100 °C durante 10 minutos	-	Areia

Fonte: Autores (2015)

### 2.2 Metodologia

#### 2.2.1 Germinação

A quebra de dormência por rachadura na casca foi feita com o auxílio de um martelo

e uma pinça metálica, de modo que se abriu na casca uma quase imperceptível fenda para entrada de água, e posterior desenvolvimento do processo germinativo.

O segundo método para a quebra de dormência consistiu na imersão total das sementes em água a aproximadamente 100 °C durante um período de 1 hora.

A quebra de dormência para o terceiro método foi a total imersão das sementes em água a aproximadamente 100 °C durante um período de 10 minutos.

A etapa de maceração consistiu na imersão de todas as sementes (SM e SV, CQD e SQD) em água a temperatura ambiente durante suas respectivas horas (Tabela 1). A cada 12 horas a água foi trocada.

Em seguida, as sementes foram postas para germinar sob as mesmas condições daquelas que não sofreram quebra de dormência. Primeiramente, 37 SM SQD e 37 SV SQD foram colocadas para germinar no interior de sacolas plásticas transparentes. A borda das sacolas permaneceu entreaberta de maneira a ocorrer circulação de ar ambiente e espaço suficiente para que fosse possível adicionar algumas gotas de água. As sacolas foram mantidas sempre umedecidas, expostas ao sol matinal. O tempo de germinação durou 30 dias.

Em segundo lugar, a germinação em algodão comportou 70 SM das quais 45 são SQD além de 70 SV, das quais 45 são SQD. Dentro de dois vasilhames, todas as sementes foram envolvidas por camadas de aproximadamente 1,5 cm de algodão hidrófilo. O algodão e as sementes foram mantidos constantemente umedecidos e os vasilhames recebiam luminosidade solar matinal. Aos primeiros indícios de broto cessou-se a germinação. O tempo decorrido foi de 30 dias.

O último método consistiu na germinação em areia. Nenhuma das sementes destinadas a esse método passou pela etapa de maceração. A areia foi autoclavada por 30 minutos a aproximadamente 120 °C para

garantia de esterilidade. Em seguida foi despejada em vasilhames e em camadas de aproximadamente 2 cm, de modo a cobrir todas as sementes. A areia e as sementes foram mantidas constantemente umedecidas e os vasilhames foram cobertos por uma tela de sombreamento, a fim de se evitar a contaminação da areia por insetos e detritos. O recipiente ficou exposto à luz solar das 7h às 11h e das 16h às 18h. Com o início dos brotos finalizou-se a germinação que teve duração de 30 dias.

Após a germinação, contou-se o número de sementes que brotaram e calculou-se o Índice Germinativo (IG), segundo a equação 1:

$$IG = \frac{\text{nº de sementes que germinaram}}{\text{nº de sementes que foram postas para germinar}} \quad (1)$$

Posteriormente as amêndoas foram retiradas da casca e congeladas a aproximadamente -18 °C para posterior secagem.

### 2.2.2 Secagem

Sementes verdes com quebra de dormência, sem rachadura e sem broto foram selecionadas e separadas em três conjuntos distintos para que fosse feita a triplicata dos experimentos. A massa de cada conjunto foi medida e cada um dos seus elementos fotografados. Em seguida, as amostras foram colocadas em uma estufa (modelo S250SD) a aproximadamente 61<sup>o</sup> C, onde permaneceram em intervalos de 15 minutos. O procedimento foi repetido até que a variação da massa não fosse significativa na terceira casa decimal. Para a determinação da umidade de equilíbrio, as amostras permaneceram dentro da estufa a 105 graus Celsius por aproximadamente 12 horas.

Medidas de temperatura também foram feitas para as amostras. Um termopar tipo K foi utilizado para registrar a temperatura durante o processo de secagem. Um dos terminais foi

inserido no centro da amostra e sua temperatura foi medida a cada 15 minutos.

Para o estudo da secagem de nozes de macadâmia, propuseram-se dois modelos matemáticos. No primeiro modelo, tanto a difusividade efetiva quanto a condutividade térmica são constantes e ocorrem transferências simultâneas de massa e de energia. No segundo modelo, a difusividade efetiva é dependente do conteúdo de umidade e varia com o tempo e com o espaço. Somente o modelo de transferência de massa é analisado. Também foram feitas considerações sobre a geometria das nozes e condições do processo. As considerações são apresentadas a seguir:

- Secagem por convecção natural;
- Modelagem matemática em coordenadas esféricas;
- As transferências de massa e de calor ocorrem somente na direção radial;
- A transferência de massa é independente da transferência de calor
- Secagem de amostra única e
- Temperatura do ar de secagem constante.

### 2.2.3 Modelo de transferência de massa e de calor combinadas

Este modelo considera que as transferências de massa e calor ocorrem simultaneamente e que a transferência de massa é a etapa determinante do processo de secagem. Como uma primeira abordagem, considerou-se que tanto a difusividade efetiva quanto a condutividade térmica não variam com o tempo ou com a posição. Considera-se também que a água é transferida do interior do sólido até sua superfície por difusão e, em seguida, transferida ao ar de secagem por convecção. Com relação à transferência de energia, calor é transferido do ar de secagem para a superfície do sólido por convecção e da superfície para o interior por difusão. As equações que descrevem os fenômenos de transferência de massa e calor são

representadas, respectivamente, pelas equações 2 e 3.

$$\frac{\partial \Psi}{\partial \tau} = \left(\frac{R_s}{R}\right)^2 \frac{D_{eff}}{D_{eff}} \left[ \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \xi^2} + \frac{2}{\xi} \frac{\partial \Psi}{\partial \xi} \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \tau} = L_e \left(\frac{R_s}{R}\right)^2 \left[ \frac{\partial^2 \Theta}{\partial \xi^2} + \frac{2}{\xi} \frac{\partial \Theta}{\partial \xi} \right] \quad (3)$$

### 2.2.4 Condições inicial e de contorno para a transferência de massa

Na condição inicial assumiu-se que a umidade no sólido esférico é uniforme em todas as posições antes do início do processo de secagem. Uma condição de contorno considera que, na superfície do sólido, o fluxo difusivo de massa se iguala ao fluxo convectivo. Finalmente, uma condição de simetria assume que o fluxo de massa no centro da esfera é nulo, pois possui a mesma magnitude para qualquer valor das dimensões angulares. As condições inicial, de contorno e de simetria são dadas pelas equações 4, 5 e 6, respectivamente.

$$\Psi = 1 \text{ para } \tau = 0, \forall \xi \quad (4)$$

$$\left. \frac{\partial \Psi}{\partial \xi} \right|_{\xi=1} = -3Bi_m \Psi|_{\xi=1}, \tau \geq 0, \xi = 1 \quad (5)$$

$$\frac{\partial \Psi}{\partial \xi} = 0 \text{ para } \tau \geq 0, \xi = 0 \quad (6)$$

### 2.2.5 Condição inicial e de contorno para a transferência de calor

De forma análoga à transferência de massa, a condição inicial estabelece que a temperatura do sólido é uniforme em toda a sua extensão. A condição de simetria considera que o fluxo de calor no centro da esfera é nulo. A condição de contorno estabelece que, na superfície do sólido, o somatório do fluxo de calor e do termo que representa o calor de vaporização de água se iguala ao fluxo convectivo. As condições inicial, de contorno e de simetria são dadas pelas equações 7, 8 e 9, respectivamente.

$$\Theta = 1 \text{ para } \tau = 0, \forall \xi \quad (7)$$

$$\left. \frac{\partial \Theta}{\partial \xi} \right|_{\xi=1} = \frac{\bar{\lambda}}{Le_0} \frac{\partial \Psi}{\partial \xi} - 3Bi(\Theta - 1)|_{\xi=1}, \tau \geq 0, \xi = 1 \quad (8)$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \xi} = 0 \text{ para } \tau \geq 0, \xi = 0 \quad (9)$$

#### 2.2.6 Modelo de transferência de massa com difusividade variável

Neste modelo a difusividade varia com o tempo e com a posição. Por motivos de simplificação, considerou-se que a difusividade é uma função apenas da umidade do sólido. As difusividades podem ser representadas pelas equações 10 e 11.

$$D_{ef} = a + bX \quad (10)$$

$$D_{ef} = aX^b \quad (11)$$

em que,  $a$  e  $b$  são parâmetros de ajuste. Substituindo as Equações 10 e 11 na equação da Segunda Lei de Fick, tem-se:

$$\frac{\partial \Psi}{\partial \tau} = \frac{1}{9R^2} \left\{ [a + bX] \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \xi^2} + b(X_0 - X_e) \left( \frac{\partial \Psi}{\partial \xi} \right)^2 + \frac{2}{\xi} [a + bX] \frac{\partial \Psi}{\partial \xi} \right\} \quad (12)$$

para a difusividade efetiva variando linearmente com o conteúdo de umidade do sólido. Para o caso da difusividade variar potencialmente com a umidade, tem-se:

$$\frac{\partial \Psi}{\partial \tau} = \frac{1}{9R^2} \left\{ a[X]^b \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \xi^2} + ab(X_0 - X_e)[X]^{b-1} \left( \frac{\partial \Psi}{\partial \xi} \right)^2 + \frac{2}{\xi} \{a[X]^b\} \frac{\partial \Psi}{\partial \xi} \right\} \quad (13)$$

No que diz respeito à metodologia numérica, foi utilizado o método das diferenças finitas para discretizar o sistema de equações do modelo, para cada ponto nodal em uma malha estruturada para cada caso, incluindo as condições de contorno e de simetria. O sistema de equações resultante foi integrado na dimensão temporal pelo método de Runge-Kutta e o programa Matlab® foi

utilizado para solução numérica e simulação. Nos modelos de transferência de massa, a constante de secagem e os parâmetros  $a$  e  $b$  foram ajustados utilizando como critério o método dos quadrados mínimos.

### 2.3 Determinação das propriedades da noz de macadâmia

As propriedades da macadâmia como calor específico, difusividade térmica, massa específica e condutividade térmica foram determinadas de acordo com relações empíricas propostas por Choi e Okos (1986). A difusividade efetiva foi obtida a partir da constante de secagem.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Produção do malte

A quebra de dormência no primeiro experimento não foi satisfatória, visto que o martelo abriu fendas muito grandes na maioria das sementes. O tempo de maceração de 96 horas foi muito prolongado e provocou escurecimento da água e odor desagradável. Durante os 30 dias de germinação, as sementes desenvolveram fungos no interior das sacolas plásticas e precisaram ser descartadas. Nenhuma semente germinou, isto é, IG nulo.

No segundo experimento, observou-se que as sementes CQD exibiram IG menor do que aquelas que não sofreram quebra de dormência. A etapa de maceração não influenciou na germinação das sementes. Entre as SM postas para germinar, duas exibiram brotos. Assim, o IG foi calculado segundo a equação 1 foi de 2,86%. Entre as SV, apenas uma exibiu broto, e o IG correspondente foi de 1,43%. A partir do IG do segundo experimento chegou-se a conclusão de que as SM são melhores para germinar, por isso foram escolhidas somente SM para o terceiro experimento. As SM SQD apresentaram IG de 13,64%. Já as SM CQD apresentaram IG nulo. O método de esterilização da areia em autoclave foi adequado, pois não houve



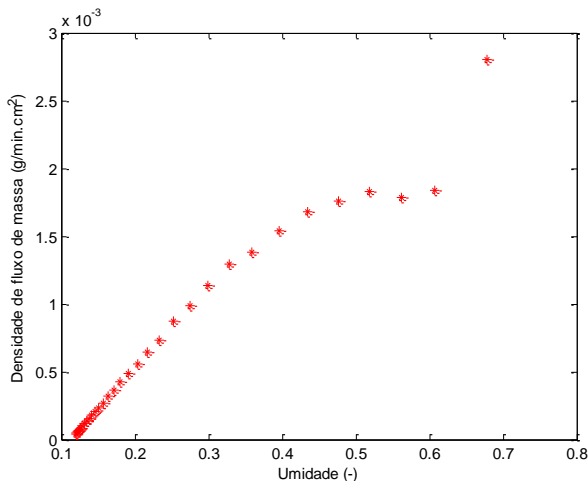
desenvolvimento de fungos. A areia manteve seu aspecto inicial até o fim da germinação, sem alteração de sua cor e/ou odor.

Observou-se também que as sementes que exibiram broto foram aquelas que receberam maior luminosidade por estarem localizadas na parte mais superficial do vasilhame.

### 3.2 Secagem

A Figura 1 mostra a Densidade de fluxo de massa em função da umidade em base seca. É possível constatar que somente o período de taxa decrescente está presente na secagem da noz de macadâmia. Em materiais biológicos existe uma resistência à transferência de massa no interior do produto. A taxa de evaporação da superfície para o meio envolvente é superior à taxa de reposição de umidade do interior até à superfície.

**Figura 1** – Densidade de fluxo de massa em função da umidade em base seca

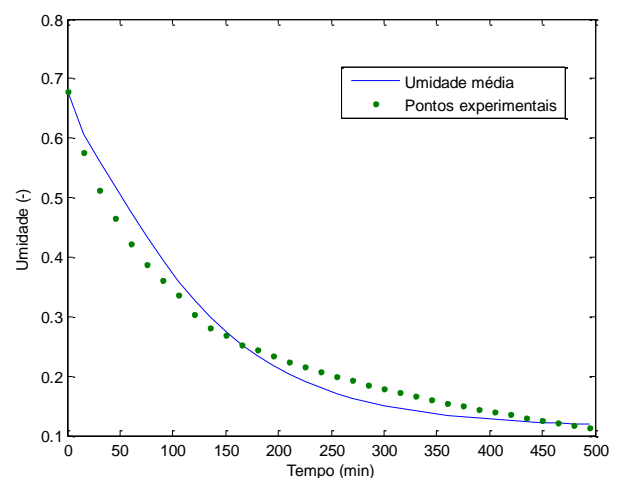


Como consequência, este período de taxa de secagem constante é inexistente neste tipo de material (MUJUMDAR, 2009; PARK, K. J. B.; PARK, K. J.; CORNEJO, F. E. P.; FABBRO, I. M. D., 2008; PARK, K. J.; ANTONIO, G.C.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B., 2007 e SHERWOOD, 1929a, 1929b).

### 3.3 Modelo de difusividade mássica e condutividade térmica constantes

A Figura 2 mostra a redução do conteúdo de umidade da amostra durante o processo de secagem. Os pontos em verde representam os resultados experimentais. A curva em azul representa a simulação numérica.

**Figura 2** – Resultados da simulação com os resultados experimentais, de acordo com a Equação 2

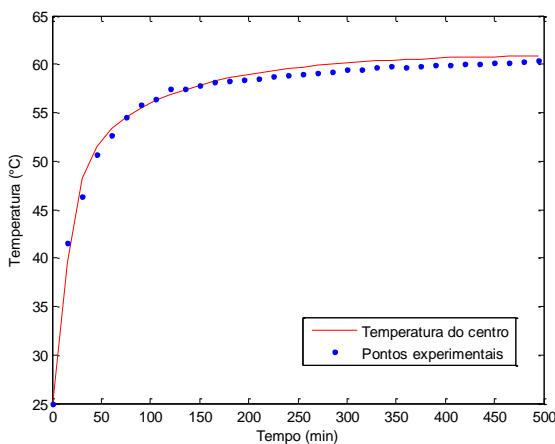


A umidade da amostra decresce rapidamente no início do processo de secagem. Em aproximadamente 200 minutos, a redução de umidade se torna mais lenta em relação ao início do processo. Isso pode ser explicado por meio da análise da Lei de Fick, em que a derivada que representa a força motriz para a transferência de massa se aproxima de zero. Isto significa que a taxa de fluxo de massa difusivo diminui e a taxa de transferência de massa se torna mais lenta. A umidade da amostra se estabiliza em 0,11 com aproximadamente 400 min.

Uma discussão similar pode ser feita para a temperatura, representado pela Figura 3. Os pontos em azul representam os pontos resultados experimentais. A curva em vermelho representa a temperatura do centro da amostra. Nos primeiros 100 minutos a temperatura da amostra aumenta rapidamente. Gotículas de água se formam na superfície da amostra. Como o conteúdo de umidade da noz

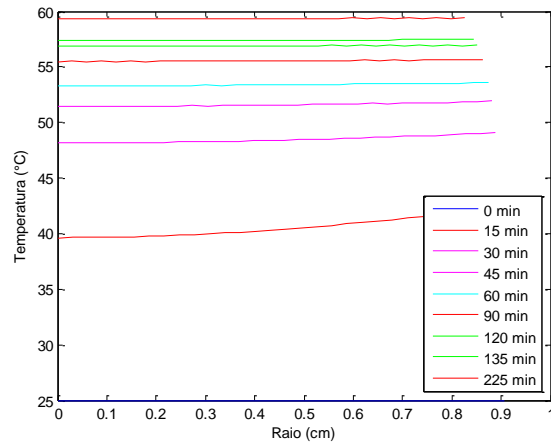
de macadâmia é relativamente baixo em relação a outros produtos alimentícios como as frutas, as áreas expostas (sem cobertura das gotículas de água) aquecem e a temperatura da amostra aumenta. Após 100 minutos, o aumento da temperatura progride de forma mais lenta. O termo que representa a força motriz na lei de Fourier tende a zero. Isto implica que o fluxo de energia decresce e a taxa de transferência de energia se torna muito lenta. A temperatura da noz tende assintoticamente à temperatura do ar de secagem. De acordo com a simulação, a temperatura atingida aos 500 min foi de 60,8°C enquanto a temperatura registrada pelo termopar foi de 60,4°C.

**Figura 3** – Resultados da simulação com os resultados experimentais, de acordo com a Equação 3



A dependência da temperatura em relação ao raio da amostra pode ser observada na Figura 4. Durante os primeiros minutos de secagem, é possível notar uma pequena diferença entre a temperatura da superfície e a do centro. Com a progressão da secagem, esta diferença se torna cada vez menor. Embora a amostra seja um material biológico e, portanto, é um mau condutor de calor, seu pequeno tamanho contribui para a condução de calor e a amostra aquece rapidamente. Em 30 minutos, a temperatura no centro possui um valor da temperatura na superfície da amostra.

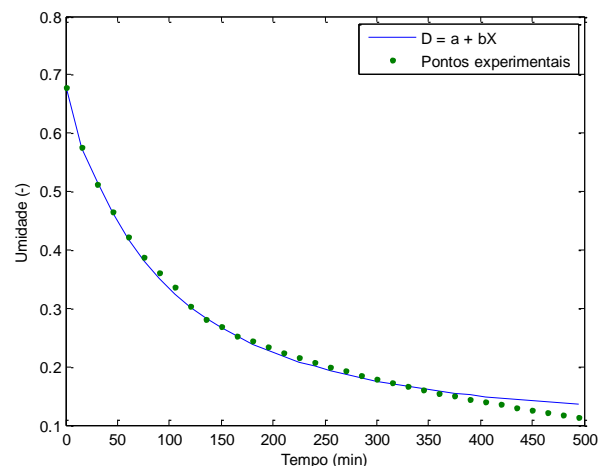
**Figura 4** – Dependência da temperatura em função do raio, parametrizado no tempo de secagem



### 3.4 Modelo de difusividade variável

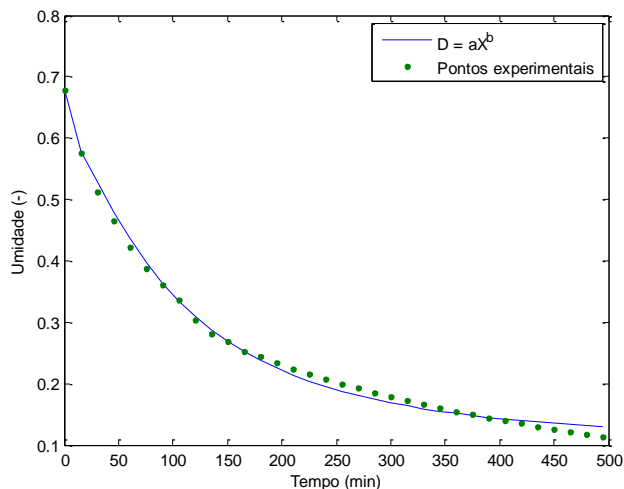
As Figuras 5 e 6 mostram os resultados da simulação para a difusividade mássica em função do conteúdo de água na forma linear e de potência, respectivamente. Pode-se notar uma evolução na precisão do ajuste aos dados experimentais para ambos os modelos, em relação ao modelo de difusividade constante.

**Figura 5** – Comparação dos resultados do modelo com difusividade variável linear com os resultados experimentais ( $a = 4,00 \times 10^{-5}$ ;  $b = 3,70 \times 10^{-4}$ )



Contudo, é possível observar um pequeno desvio em relação aos últimos pontos experimentais. Para o modelo de difusividade mássica linear a umidade se estabiliza em 0,1357. Para o modelo do na forma de potência, a umidade se estabiliza em 0,1300.

**Figura 6** – Comparação dos resultados do modelo com difusividade variável na forma de potência com os resultados experimentais ( $a = 2,40 \times 10^{-4}$ ;  $b = 0,405$ )



Os modelos apresentados neste trabalho representaram os dados experimentais com boa precisão. Ajustes melhores podem ser feitos se as dimensões angulares forem incluídas. A determinação por meio de experimentos das propriedades específicas da macadâmia também podem contribuir para melhorar os ajustes. Estes modelos podem ser adaptados para a secagem de sementes esféricas em geral e de outros produtos nacionais, como a pimenta rosa.

#### 4 CONCLUSÃO

O melhor método para a produção do malte das sementes de macadâmia é o que usa a areia como ambiente de crescimento para o desenvolvimento do processo germinativo. E em vista do IG, as melhores sementes são as SM, SQD e sem maceração.

Os modelos matemáticos para a secagem das nozes de macadâmia propostos neste trabalho foram capazes de avaliar o perfil de umidade da amostra. O modelo de difusividade constante apresentou bom ajuste, porém os desvios, principalmente em relação aos primeiros pontos experimentais, sugerem que este não é o melhor modelo para

representar o processo de secagem da macadâmia. Como uma segunda abordagem para o problema, os modelos de difusividade variável apresentaram melhores ajustes com desvio em relação aos últimos pontos experimentais

O modelo de transferência de calor avaliou o perfil da temperatura durante o processo de secagem. Como esperado, o modelo mostrou um intenso aquecimento da amostra durante os primeiros 100 min. Apesar de o conteúdo de umidade relativamente baixo da amostra, este modelo inclui o termo de vaporização da água com o intuito de ser o mais generalizado o possível. Este trabalho também contribuiu para o melhor entendimento dos mecanismos de transferência de massa e de calor para uma noz de macadâmia. Em trabalhos futuros, será proposto um modelo de transferência de energia em que a difusividade térmica varie com o tempo e com a posição. Outros modelos de difusividade variável serão analisados e as dimensões angulares serão incluídas para melhorar os ajustes.

#### NOMENCLATURA

Bi	número de Biot, [-]
Bim	número de Biot mássico, [-]
cp	calor específico, [J/(kg.K)]
D	difusividade de massa, [m <sup>2</sup> /s]
k	condutividade térmica, [W/(m.K)]
Le	número de Lewis, [-]
R	raio da amostra, [m]
T	temperatura, [K]
t	tempo, [s]
X	umidade, [-]
$\theta$	temperatura adimensional, [ $\equiv (T - T_0)/(T_{ar} - T_0)$ ]
$\bar{\lambda}$	calor latente de vaporização adimensional, [ $\equiv \lambda \cdot X_0 / cp (T_{ar} - T)$ ]
$\lambda$	calor latente de vaporização, [kJ/kg]
$\xi$	raio adimensional, [ $\equiv r/R$ ]



$\tau$	tempo adimensional, [ $\equiv df.t/ R_s^2$ ]
$\psi$	umidade adimensional, [ $\equiv (X_0 - X)/(X_0 - X_e)$ ]
0	inicial
e	equilíbrio
ef	efetivo
f	final
s	seco

## REFERÊNCIAS

Choi, Y. and Okos, M.R. **Effects of Temperature and Composition on the Thermal Properties of Foods**. 1986. 93-101p. Journal of Food Process and Applications.

DELGADO, J. M. P. Q. and BARBOSA de Lima.: **Grain Drying Simulation: Principles, Modeling and Applications**. 2014 48p. Transport Phenomena and Drying of Solids and Particulate Materials, Advanced Structured Materials.

FORTES, M.: **A non-equilibrium thermodynamics approach to transport phenomena in capillary-porous media with special reference to drying of grains and foods**. 1978. Tese de doutorado, Faculty of Purdue University, United States of America.

MUJUMDAR, ARUN S. - **Principles, Classification, and Selection of Dryers**. 2009. In: Handbook of Industrial Drying, Third Edition.

PARK, K. J.; ANTONIO, G.C.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. - **Conceitos de processo e equipamentos de secagem**. 2007. 121p. Disponível em: <URL: <http://www.feagri.unicamp.br>> Acesso em: 1 junho 2015

PARK, K. J. B.; PARK, K. J.; CORNEJO, F. E. P.; FABBRO, I. M. D. - **Considerações termodinâmicas das isothermas**. 2008. 83-

94p. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais. Vol. 10, n.º 1. Disponível em :<URL: <http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev101/Art1010.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2015.

PENONI, E. S. **Caracterização produtiva física e química de cultivares de noqueira-macadâmia**. 2011. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras 2011.

SHERWOOD, T.K. - **The Drying of Solids - I**. 1929a ,12-16p. Industrial and Engineering Chemistry. Vol. 1, n.º 1.

SHERWOOD, T.K - **The Drying of solids - II**. 1929b, 976-980p. Industrial and Engineering Chemistry. Vol. 21, n.º 10.

XINGUO, J., PETER, J. and SHANE, C.: **Heat pump assisted continuous drying. Part 2: simulation results**. 1990. 771 – 782p. International Journal of Energy Research.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à COOPMAC São Mateus-ES, PRPPG/UFES e CNPq.