

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS CERES
BACHARELADO EM AGRONOMIA
FRANK SILVA CABRAL

CINÉTICA DE SECAGEM DE ABÓBORA TETSUKABUTO

CERES – GO
2019

FRANK SILVA CABRAL

CINÉTICA DE SECAGEM DE ABÓBORA TETSUKABUTO

Trabalho de curso apresentado ao curso de Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia, sob orientação do Prof. Dr. Renato Souza Rodovalho.

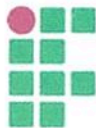
**CERES – GO
2019**

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

CC117 Cabral , Frank Silva Cabral
CINÉTICA DE SECAGEM DE ABÓBORA TETSUKABUTO /
Frank Silva Cabral Cabral ;orientador Renato Souza
Rodovalho . -- Ceres, 2019.
16 p.

Monografia (em Bacharelado em Agronomia) --
Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, 2019.

1. cabotiá. 2. entalpia. 3. entropia. 4. secador
experimental. I. , Renato Souza Rodovalho, orient.
II. Título.



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia - Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Frank Silva Cabral
 Matrícula: 2015103200210333
 Título do Trabalho: Cinética de Secagem de Fbóbora Tetsukabufol

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 01/10/20

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não
 O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Ceres _____ 01.11.19
 Local Data

Frank Silva Cabral

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Renato Souza Rodvalho
 Assinatura do(a) orientador(a)

Renato Souza Rodvalho
 Coordenador do Curso de Bacharelado
 em Agronomia
 Matrícula SIAPE: 1729658

ANEXO IV - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Ao(s) ouze dia(s) do mês de Novembro do ano de dois mil e dezenove, realizou-se a defesa de Trabalho de Curso do(a) acadêmico(a) Frank Silva Cobral, do Curso de Agronomia, matrícula _____, cujo título é "Cinética de secagem de abóbora teetsukabuto". A defesa iniciou-se às

13 horas e 34 minutos, finalizando-se às 13 horas e 56 minutos. A banca examinadora considerou o trabalho Aprovado com média 7,2 no trabalho escrito, média 7,8 no trabalho oral, apresentando assim média aritmética final 7,5 de **pontos**, estando o(a) estudante(a) Apto para fins de conclusão do Trabalho de Curso.

Após atender às considerações da banca e respeitando o prazo disposto em calendário acadêmico, o(a) estudante(a) deverá fazer a submissão da versão corrigida em formato digital (.pdf) no Repositório Institucional do IF Goiano – RIIF, acompanhado do Termo Ciência e Autorização Eletrônico (TCAE), devidamente assinado pelo autor e orientador.

Os integrantes da banca examinadora assinam a presente.


Assinatura Presidente da Banca


Assinatura Membro 1 Banca Examinadora


Assinatura Membro 2 Banca Examinadora

*Dedico este trabalho à minha família, amigos e todos que
contribuíram para a sua realização.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me guiado e me abençoado por todos os momentos de minha vida, tendo força para nunca desistir dos meus sonhos.

A minha mãe Delmira de Souza Cabral, meu irmão Corjésus Pedro da Silva Cabral e meu padrasto Divino Francisco Ribeiro e demais familiares, por contribuírem direta e indiretamente na minha formação de Bacharel em Agronomia e acima de tudo como pessoa.

Ao professor orientador Dr. Renato Souza Rodovalho pelos ensinamentos, amizade e paciência.

Aos demais servidores do Instituto Federal Goiano - Campus Ceres, pelo afeto e responsabilidade que atribuíram em especial Ednair Damas Farias e Gonçalves Pinto Neto.

Aos meus amigos e colegas que me ajudaram estar aqui até hoje: Dennis Ricardo Cabral Cruz, Jadson Irineu Sales, Jefferson Kran Sarti, Milena Costa dos Santos, Samuel Gonçalves F. Santo, Gustavo Ribeiro dos Santos e a todos os demais amigos, que com eles convivi durante os cinco anos de faculdade, no alojamento da instituição.

A minha namorada Mônica Ferreira de Melo e familiares, por todo carinho.

“Se for duvidar, duvide de seus limites, nunca do seu potencial”.

Autor Desconhecido

RESUMO

O aumento pela busca por alimentos saudáveis, sem glúten e ricos em fibras abre oportunidade para a incorporação de olerícolas, como a abóbora. A substituição parcial do trigo, pela farinha de abóbora, influi em significativo impacto na economia brasileira. O estudo da cinética de secagem é fundamental para a obtenção da farinha de abóbora com qualidade. O objetivo deste trabalho foi avaliar o estudo da cinética de secagem de raspas de abóbora em estufa de circulação e renovação de ar, sombra em bancada e secador experimental. O trabalho foi desenvolvido no IF Goiano - Campus Ceres, no período de junho/2019. Determinou-se o teor de água das raspas de abóbora Tetsukabuto pelo método da estufa, posteriormente, realizou-se a secagem das raspas na sombra, estufa de circulação e renovação de ar e secador experimental. A cinética de secagem das raspas de abóbora apresentou maior redução da água com o aumento da temperatura do ar de secagem, devido ao acréscimo do gradiente de potencial hídrico existente entre as raspas e o ar de secagem. O tempo necessário para obtenção do produto com teor de água de 2,971 decimal em b.s. foi de nove horas para ambos os métodos de secagem. Conclui-se que Page foi o melhor modelo para representação da cinética de secagem das raspas de abóbora; a elevação da temperatura do ar de secagem proporciona o aumento da energia livre de Gibbs e da difusividade de água nas raspas de abóbora, reduz a entalpia e, mantém a entropia negativa.

Palavras-chave: cabotiá, entalpia, entropia, secador experimental.

ABSTRACT

The increase by search for foods healthy without gluten and rich in fiber opens opportunity for the incorporation of vegetables such as pumpkin. The kinetics study drying is fundamental to obtaining the flour of pumpkin with quality. The purpose of this work was to evaluate the study of kinetics of drying of zest of pumpkin in greenhouse of circulation and air renovation, shadow on countertop and dryer experimental. The work was developed in IF Goiano - Campus Ceres. It was determined the water content of zest of pumpkin Tetsukabuto by greenhouse method, posteriorly, took place at drying of zest on shade, greenhouse circulation and air renewal and dryer experimental. The kinetics of drying of zest of pumpkin presented higher water reduction with the increase of the temperature of drying air, due to addition of gradient of water potential between shavings and the air of drying. The necessary time to obtain the product with content of water of 2,971 decimal in b.s. it was nine o'clock for both methods of drying. It is concluded that Page was the best template for representation of kinetics of drying of zest of pumpkin; the elevation of air temperature drying provides the increase of free energy from Gibbs and the diffusivity of water in the zest Pumpkin enthalpy and keeps the negative entropy.

Keywords: cabatiá, enthalpy, entropy, experimental dryer.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|-----------|
| Figura 1: Visão frontal do secador e visão superior da câmara de secagem. | 4 |
| Figura 2. Variação da razão de umidade em função dos métodos de secagem em estufa (51,18)..... | 8 |
| Figura 3. Curvas de secagem estimadas pelo modelo de Page aos dados experimentais das raspas de abóbora submetidas a diferentes métodos de secagem. | 11 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Modelo de ajuste de dados experimentais de razão do teor de água das raspas submetidas a secagem..... | 5 |
| Tabela 2. Temperatura máxima (T _{máx}), temperatura mínima (T _{mín}), temperatura média (T _{méx}) e desvio padrão obtidos nos métodos de secagem à sombra, em estufa e em secador experimental pela cinética de secagem das raspas de abóbora..... | 7 |
| Tabela 3. Valores do coeficiente de determinação (R ²), erro médio relativo (P), erro médio estimado (SE) e distribuição dos resíduos (Dist.), como critérios de ajuste dos modelos aos dados experimentais da secagem das raspas de abóbora, obtidos nos métodos de secagem à sombra, em estufa e em secador experimental..... | 9 |
| Tabela 4. Parâmetros dos modelos ajustados para os métodos de secagem das raspas de abóbora..... | 11 |
| Tabela 5. Propriedades termodinâmicas, entalpia (ΔH), entropia (ΔS) e energia livre de Gibbs (ΔG) obtidas pela cinética de secagem das raspas de abóbora, obtidos nos métodos de secagem à sombra, em estufa e em secador experimental..... | 13 |

SUMÁRIO

| | |
|-----------------------------|----|
| RESUMO..... | 1 |
| INTRODUÇÃO..... | 2 |
| MATERIAL E MÉTODOS..... | 3 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 7 |
| CONCLUSÕES..... | 13 |
| REFERÊNCIAS..... | 13 |

CINÉTICA DE SECAGEM DE ABÓBORA TETSUKABUTO

Frank Silva Cabral & Renato Souza Rodovalho

RESUMO

O aumento pela busca por alimentos saudáveis, sem glúten e ricos em fibras abre oportunidade para a incorporação de olerícolas, como a abóbora. A substituição parcial do trigo, pela farinha de abóbora, influi em significativo impacto na economia brasileira. O estudo da cinética de secagem é fundamental para a obtenção da farinha de abóbora com qualidade. O objetivo deste trabalho foi avaliar o estudo da cinética de secagem de raspas de abóbora em estufa de circulação e renovação de ar, sombra em bancada e secador experimental. O trabalho foi desenvolvido no IF Goiano - Campus Ceres, no período de junho/2019. Determinou-se o teor de água das raspas de abóbora Tetsukabuto pelo método da estufa, posteriormente, realizou-se a secagem das raspas na sombra, estufa de circulação e renovação de ar e secador experimental. A cinética de secagem das raspas de abóbora apresentou maior redução da água com o aumento da temperatura do ar de secagem, devido ao acréscimo do gradiente de potencial hídrico existente entre as raspas e o ar de secagem. O tempo necessário para obtenção do produto com teor de água de 2,971 decimal em b.s. foi de nove horas para ambos os métodos de secagem. Conclui-se que Page foi o melhor modelo para representação da cinética de secagem das raspas de abóbora; a elevação da temperatura do ar de secagem proporciona o aumento da energia livre de Gibbs e da difusividade de água nas raspas de abóbora, reduz a entalpia e, mantém a entropia negativa.

Palavras-chave: cabotiá, entalpia, entropia, secador experimental.

INTRODUÇÃO

O principal centro de diversidade da abóbora é o continente americano, mais precisamente a área central do México, são plantas de clima quente, com temperaturas ótimas para o desenvolvimento e frutificação, variando de 20 à 27 °C (Ferreira et al. 2017). Conforme Amaro et al. (2014), a abóbora conhecida como ‘Tetsukabuto’ ou ‘Cabotiá’, é um híbrido interespecífico, resultado do cruzamento entre linhagens selecionadas de moranga (*Cucurbita máxima Duch.*), utilizadas como genitores femininos, e linhagens de abóbora (*C. moschata Duch.*) genitores masculinos. Devido à boa adaptação às condições locais, esses híbridos, têm grande importância econômica no Brasil.

Além da importância socioeconômica, a abóbora destaca-se na nutrição, especialmente, pela riqueza em carotenoides, ferro, cálcio, magnésio, potássio, fibras e vitaminas B e C (Lemes et al. 2015). De acordo com Resende et al. (2013), as abóboras são apreciadas por toda a população.

A demanda por novos alimentos nutricionalmente saudáveis e economicamente viáveis aumentou consideravelmente agregando valor econômico à produção, além de contribuir para a formulação de novos produtos alimentícios e minimizar o desperdício (Naves et al. 2010). Se tratando dos resíduos, estes constituem 65-70% da massa total dos frutos conforme a espécie (Uchôa Thomaz et al. 2014).

De acordo com Santos (2018), um constituinte importante encontrado nos pães integrais é a fibra alimentar, assim, o aproveitamento de subprodutos agroindustriais de frutas, ricos em fibra, poderia acrescentar nutriente e inovação em formulações de panificação.

A secagem e o armazenamento são etapas essenciais do pós-colheita na obtenção de qualidade dos produtos (Martinazzo et al. 2013). De acordo com Diógenes et al. (2013) a secagem é uma forma de minimizar perdas, possibilitando o transporte, o armazenamento e

aumentando a vida útil, garantindo a viabilidade econômica e segurança microbiológica pela eliminação da água do material, através da evaporação.

De acordo com Silva et al. (2015) a cinética de secagem pode ser entendida como sendo a rapidez com que um material perde umidade, e depende das suas propriedades específicas, da temperatura, velocidade do ar de secagem e umidade relativa do ar.

Segundo Oliveira et al. (2013) o estudo das propriedades termodinâmicas proporciona o conhecimento da afinidade do solvente pela água e da espontaneidade do processo de sorção, sendo importante para projetar equipamentos de secagem.

Diante do exposto, o objetivo foi realizar o estudo da cinética de secagem de raspas de abóbora em estufa de circulação e renovação de ar, sombra em bancada e secador experimental.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Preparo de Amostras e Agroindústria do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Ceres, Goiás, Brasil (IF Goiano – Campus Ceres) no período de 14/06/2019 a 15/06/2019.

Os frutos de abóbora foram adquiridos no mercado local, sendo da variedade Tetsukabuto. A matéria-prima foi cortada em fatias com faca inoxidável, realizando-se a remoção das sementes para retirada de toda a película. Em seguida, submetida à lavagem em água corrente e posteriormente, a matéria-prima foi ralada em multiprocessador industrial para redução do tamanho, obtendo assim, as raspas de abóboras com médias de área $3,324 \times 10^{-5} \text{ m}^2$, espessura de $0,02054 \text{ m}$ e obtendo-se volume de $4,264 \times 10^{-7}$.

A determinação do teor de água inicial das raspas de abóbora, em base seca (b.s.) foi determinada, utilizando estufa à $105 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 24 horas, (ASAE 2000). Foram pesadas quatro repetições de 100 g em balança analítica, distribuídas em placas de petri e levadas à

estufa para secagem. Após a secagem as amostras foram colocadas em dessecador durante 20 minutos para a redução da temperatura, em seguida realizou-se novamente a pesagem.

As raspas com teor de água próximo a 8,2 decimal em base seca (b.s.), foram divididas em quatro amostras homogênea e distribuídas em camadas delgadas para cada método de secagem. As quatro repetições de 200 g cada, foram pesadas em balança analítica. As amostras foram depositadas em fôrmas assadeiras para secagem na sombra, em estufa de circulação e renovação de ar a 55 °C (Araújo et al. 2012).

A secagem realizada em secador experimental de leito fixo, construído com chapa número 14 e dois tambores de 200 L, com câmara de secagem circular com raio de 0,9 m (Figura 1). Acoplado quatro coolers do tipo centrípeto de 0,45 ampères, energizado por uma fonte de alimentação de 12 Volts, com fluxo de ar de 0,031 m³/s cada, obtendo assim os fluxos do ar de secagem de 3,1 10⁻² m² s⁻¹, 6,2 10⁻² m² s⁻¹, 9,3 10⁻² m² s⁻¹ e 12,4 10⁻² m² s⁻¹. Na câmara de secagem foram colocados quatro aros removíveis com fundo perfurado, com raio de 0,1 m, para permitir a passagem de ar através da camada de produto, perfazendo para cada fluxo de ar utilizado, quatro repetições (Silva, et al. 2019).

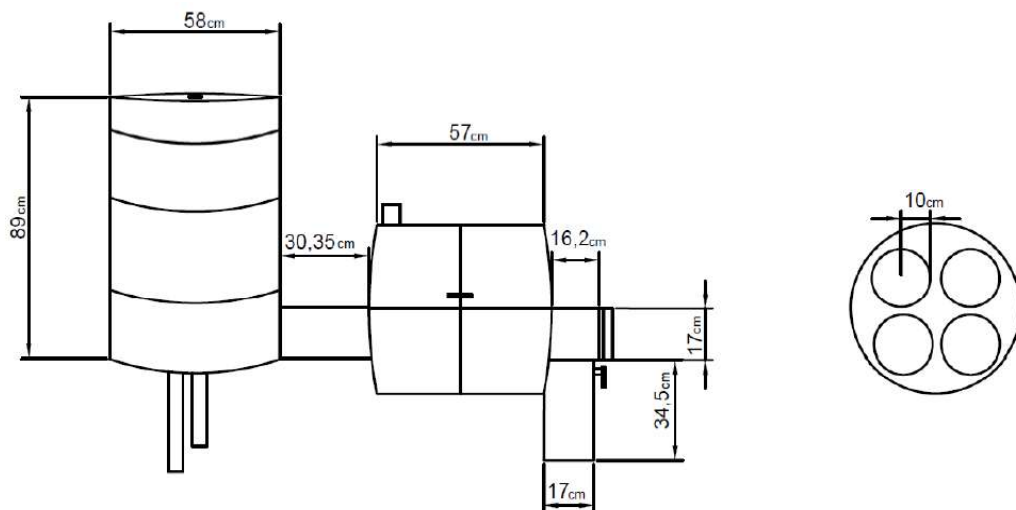


Figura 1: Visão frontal do secador e visão superior da câmara de secagem.

No secador experimental as amostras foram depositadas nos quatro aros removíveis para realização da secagem.

A massa de raspa foi avaliada periodicamente, em intervalo de 20 minutos, para todos os métodos de secagem, até obter um valor da razão de umidade próximo a 0,16045 b.s. Anotando-se as variáveis de peso e temperatura. O monitoramento da temperatura máxima e mínima foi realizado por um termômetro digital.

Vários modelos empíricos utilizados em pesquisas relacionadas a cinética de secagem de grãos foram ajustados aos dados experimentais, para representar as curvas de secagem de raspas de abóbora (Gomes et al. 2017), conforme a Tabela 1.

Os critérios estatísticos utilizados foram: coeficiente de determinação (R^2), erro médio relativo (P), erro médio estimado (SE), distribuição dos resíduos (Dist.). Coeficientes de secagem (k), constantes dos modelos (a e n), cálculo da entalpia (ΔH), a entropia (ΔS) e a energia livre de Gibbs (ΔG). No ajuste por regressão não linear, com interações pelo modelo de Gauss – Newton utilizou-se o programa computacional Statistica 7.0 para ajuste dos modelos (Tabela 1).

Tabela 1. Modelos de ajuste de dados experimentais de razão do teor de água das raspas submetidas a secagem

| Descrição | Modelo | Nº |
|------------------------------|---|----|
| Aproximação por difusão | $RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \cdot \exp(-k \cdot b \cdot t)$ | 2 |
| Dois Termos | $RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$ | 3 |
| Exponencial de dois termos | $RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \cdot \exp(-k \cdot a \cdot t)$ | 4 |
| Henderson e Pabis | $RX = a \cdot \exp(-k \cdot t)$ | 5 |
| Henderson e Pabis Modificado | $RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t) + c \cdot \exp(-k_2 \cdot t)$ | 6 |
| Logaritmo | $RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + b$ | 7 |
| Midili | $RX = a \cdot \exp(-k \cdot (t^{**n})) + b \cdot t$ | 8 |
| Midili Modificado | $RX = \exp(-k \cdot t^{**n}) + a \cdot t$ | 9 |
| Newton | $RX = \exp(-k \cdot t)$ | 10 |
| Page | $RX = \exp(-k \cdot (t^{**n}))$ | 11 |

Em que: RX – razão do teor de água da raspa, adimensional; t – tempo de secagem; k – coeficiente de secagem; a, b, c, d; e n – constante dos modelos;

A área superficial das rapas de abóbora foi obtida através de dois eixos ortogonais, espessura e comprimento, com medição de 100 raspas, utilizando paquímetro digital. Após foi calculado a relação área/volume utilizando-se a equação (12).

$$A = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times \pi \quad (12)$$

Em que: A – área em (mm); D – diâmetro.

Com a obtenção dos eixos ortogonais e os dados experimentais da secagem das raspas de abóbora, foram realizados a determinação do coeficiente de difusão efetivo (D_{ef}). Conforme a equação (13).

$$Ru = \frac{U - U_E}{U_i - U_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[-(2n+1)^2 \pi^2 D_i \left(\frac{x}{4L}\right)^2 \right] \quad (13)$$

Onde que: D_i – coeficiente de difusão efetivo, $m^2 s^{-1}$; X – tempo de secagem, s; L - espessura do produto m; n – número de termos do modelo.

O modelo de Arrhenus é representado pela relação entre o aumento do coeficiente de difusão efetiva (D_{ef}) e o aumento da temperatura do ar de secagem, expresso pela equação (14).

$$D_{ef} = D_0 \cdot \exp \left(-\frac{E_a}{R \cdot T_a} \right) \quad (14)$$

Em que: D_0 – fator pré - exponencial, $m s^{-1}$; E_a – Energia de ativação $Jmol^{-1}$; R - constante universal dos gases, $8,314 J (molK)$; T_a – temperatura absoluta, K.

Realizou-se os cálculos de entalpia (ΔH), entropia (ΔS) e a energia livre de Gibbs (ΔG), por meio das equações (15;16;17) respectivamente.

$$\Delta H = E_a - R \cdot T_a \quad (15)$$

$$\Delta S = R \cdot \left[\ln(D_0) - \ln\left(\frac{k_B}{h_p}\right) - \ln(T_a) \right] \quad (16)$$

$$\Delta G = \Delta H - T_a \cdot \Delta S \quad (17)$$

Em que: ΔH – entalpia, $Jmol^{-1}$; ΔS – entropia, $Jmol^{-1}$; k_B – constante de Boltzmann, $1,3810^{-23} JK^{-1}$; h_p – constante de Planck, $6,62610^{-34} J s^{-1}$.

A partir dos valores de temperatura mínima e máxima dos métodos de secagem, realizou-se os cálculos da temperatura média ($T_{méd}$), mínimo ($T_{mín}$), máximo ($T_{máx}$) e desvio

padrão, para comparação dos modelos de secagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As temperaturas médias do ar de secagem foram de 25,98 °C para o método da secagem em sombra, 43,33 °C para o secador experimental e 51,18 °C para o método da estufa. A temperatura de secagem para os métodos para secador experimental variou de 23,2 °C a 58,3 °C tendo como temperatura média de 51,18 °C. Para o método de secagem a sombra apresentou temperatura mínima de 21,2 °C e temperatura máxima de 29,3 °C, apresentando um desvio padrão $\pm 3,29$. Entre os três métodos de secagem a estufa apresentou desvio padrão mais próximo de zero ($\pm 0,52$), indicando que ao longo da secagem apresentou temperatura mais uniforme (Tabela 2). O que pode ser explicado por possuir mecanismo de controle de temperatura, que não pode ser observado no método de secagem a sombra cuja a temperatura é influenciada pelo meio e o secador experimental possui picos de temperatura devido a maior combustão da madeira.

Tabela 2. Temperatura máxima (T_{máx}), temperatura mínima (T_{mín}), temperatura média (T_{méd}) e desvio padrão obtidos nos métodos de secagem à sombra, em estufa e em secador experimental pela cinética de secagem das raspas de abóbora

| | T _{máx} (°C) | T _{mín} (°C) | T _{méd} (°C) | Desvio Padrão |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|
| Secador Experimental | 58,3 | 23,2 | 43,33 | $\pm 3,29$ |
| Sombra | 29,3 | 21,2 | 25,98 | $\pm 2,09$ |
| Estufa | 53,1 | 28,06 | 51,18 | $\pm 0,52$ |

Temperatura máxima (T_{máx}), temperatura mínima (T_{mín}), temperatura média (T_{méd}).

O teor de água das raspas de abóbora foi reduzido de 10,136 decimal em base seca (b.s.) para 2,971 decimais b.s. pelo método de secagem à sombra; 1,113 decimal pelo método do secador experimental; e 0,514 decimal para o método da secagem em estufa, como apresentado na Figura 1. Verifica-se na Figura 2 que o aumento da temperatura do ar de secagem possibilitou

maior redução da água nas raspas de abóbora, devido ao acréscimo do gradiente de potencial hídrico existente entre as raspas de abóbora e o ar de secagem. O mesmo comportamento também foi constatado por Borges et al. (2008) para fatias de abóbora (*Curcubita moschata* L.) com área de $10,5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ e para Arévalo-Pinedo & Murr (2005), para cenoura (*Daucus carota*) e abóbora (*Curcubita máxima*).

Os períodos de secagem das raspas de abóbora foram de nove horas, para todos os métodos de secagem (secador experimental, sombra e estufa) condicionado ao fotoperíodo do mês de junho em que foi realizado o trabalho. Arévalo-Pinedo & Murr (2005) observaram que a temperatura de secagem exerce influência sobre a velocidade de secagem, sendo que o aumento da temperatura diminui o tempo de secagem. Cardoso et al. (2017), explicam que a perda do conteúdo de água é mais rápida no início do processo de secagem devido a quantidade de água disponível no ambiente, e que o aumento da temperatura, possibilita a maior redução da água durante o processo de secagem e menor é o tempo até o alcance da umidade de equilíbrio devido o gradiente de pressão.

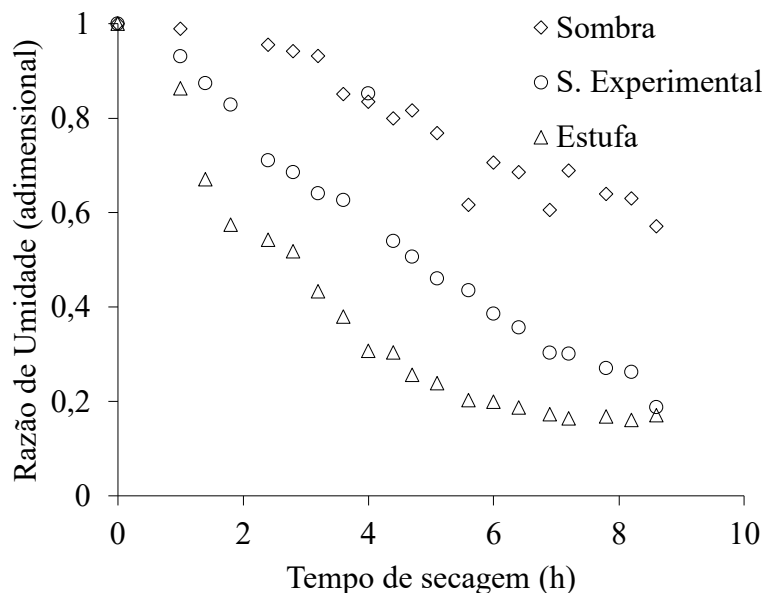


Figura 2. Variação da razão de umidade em função dos métodos de secagem em estufa (51,18 °C), sombra (25,98 °C) e secador experimental (43,33 °C) das raspas de abóbora submetidas à cinética de secagem.

Na Tabela 3, estão apresentados os critérios estatísticos de ajuste dos modelos.

Tabela 3. Valores do coeficiente de determinação (R^2), erro médio relativo (P), erro médio estimado (SE) e distribuição dos resíduos (Dist.), como critérios de ajuste dos modelos aos dados experimentais da secagem das raspas de abóbora, obtidos nos métodos de secagem à sombra, em estufa e em secador experimental

| Método de Secagem | Aproximação por difusão | | | | Dois Termos | | | |
|----------------------|------------------------------|-------|------|-------|-------------------|-------|------|-------|
| | R^2 (%) | P (%) | SE | Dist. | R^2 (%) | P (%) | SE | Dist. |
| Secador Experimental | 97,80 | 10,15 | 0,12 | T | 97,77 | 10,00 | 0,12 | T |
| Sombra | 93,88 | 3,44 | 0,11 | A | 90,29 | 4,44 | 0,15 | T |
| Estufa | 93,31 | 5,50 | 0,13 | T | 91,17 | 8,39 | 0,17 | A |
| | Exponencial de dois termos | | | | Henderson e Pabis | | | |
| Secador Experimental | 97,87 | 8,77 | 0,12 | T | 97,77 | 10,00 | 0,12 | T |
| Sombra | 92,27 | 4,22 | 0,13 | T | 90,29 | 4,44 | 0,15 | T |
| Estufa | 93,23 | 5,56 | 0,13 | A | 91,17 | 8,39 | 0,17 | A |
| | Henderson e Pabis Modificado | | | | Logaritmo | | | |
| Secador Experimental | 98,90 | 3,94 | 0,07 | A | 98,21 | 7,56 | 0,11 | T |
| Sombra | 93,20 | 3,67 | 0,12 | T | 91,22 | 4,33 | 0,15 | T |
| Estufa | 93,63 | 6,97 | 0,15 | A | 93,37 | 7,61 | 0,18 | A |
| | Midili | | | | Midili Modificado | | | |
| Secador Experimental | 98,78 | 4,38 | 0,08 | A | 98,42 | 6,91 | 0,10 | A |
| Sombra | 95,06 | 3,57 | 0,11 | T | 95,05 | 3,54 | 0,11 | A |
| Estufa | 93,58 | 5,88 | 0,14 | A | 93,58 | 5,87 | 0,14 | A |
| | Newton | | | | Page | | | |
| Secador Experimental | 97,75 | 9,78 | 0,12 | T | 97,76 | 9,61 | 0,12 | A |
| Sombra | 83,22 | 6,03 | 0,22 | T | 91,31 | 4,41 | 0,15 | A |
| Estufa | 89,61 | 11,00 | 0,22 | T | 93,38 | 5,51 | 0,13 | A |

T – Distribuição tendenciosa dos resíduos; A – Distribuição aleatória dos resíduos.

Verifica-se que todos os modelos apresentaram o R^2 próximo à magnitude, superiores a 83,22%. Com exceção dos modelos de Aproximação por difusão e Newton, os demais modelos

obtiveram erro médio relativo (P) abaixo de 10% para os métodos de secagem em estufa, sombra e secador experimental, indicando ajuste adequado com base neste critério (Draper & Smith 1998). Verifica-se também que todos os modelos analisados apresentaram erro médio estimado (SE) com valores reduzidos, sugerindo ajuste adequado, pois quanto menor o valor do erro médio estimado (SE) calculado, melhor é o ajuste do modelo (Draper & Smith 2008). E entre os modelos com o valor de erro médio relativo (P) abaixo de 10%, Henderson e Pabis Modificado apresentou os menores valores de erro médio relativo (SE).

A respeito do comportamento dos resíduos, o modelo de Midili modificado e Page, apresentaram a distribuição aleatória para todos os métodos de secagem. Entretanto, o modelo de Newton apresentou a distribuição tendenciosa para todas as temperaturas.

Diante dos procedimentos estatísticos, o melhor modelo recomendado para representar a cinética de secagem das raspas de abóbora foi o de Page. O modelo de Page também foi recomendado por Perez et al. (2013) para secagem da polpa de cupuaçu pré-desidratada por imersão-impregnação na temperatura de 65 °C.

Na Tabela 4 observa-se os parâmetros ajustados dos modelos de Midili Modificado e do modelo de Page ajustado aos dados experimentais das raspas de abóbora. Observa-se que entre estes modelos que obtiveram os melhores parâmetros estatísticos, apenas o modelo de Page apresentou significância de seus parâmetros em todos os métodos de secagem em estudo. Corroborando que o modelo de Page é o mais indicado para representar o comportamento da secagem das raspas de abóbora. Ainda na Tabela 4, verificam-se que os parâmetros “k e n” de Page não apresentam uma tendência clara de comportamento, com a elevação da temperatura e neste caso, podem ser tratados como variáveis empíricas. Os valores de “k” estando mais próximos a zero pode indicar o efeito de secagem das raspas de abóbora e conseqüentemente a redução da água no interior do produto (Borges et al. 2008).

Tabela 4. Parâmetros dos modelos ajustados para os métodos de secagem à sombra, em estufa e em secador experimental pela cinética de secagem das raspas de abóbora

| Método de Secagem | Midili Modificado | | | Page | |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|---------|---------|
| | K | a | n | K | n |
| Secador Experimental (43,33 °C) | -0,0678 ^{ns} | -0,2775 ^{ns} | 1,2267 ^{ns} | 0,2668* | 0,9862* |
| Sombra (25,98 °C) | 0,0352* | 0,0568* | 1,8982* | 0,0180* | 1,6175* |
| Estufa (51,18 °C) | 0,0680* | -0,0224 ^{ns} | 1,2221* | 0,0750* | 1,3962* |

* Significativo a 5 % de probabilidade pelo teste t; ^{ns} não significativo.

As curvas de secagem, ajustadas por Page são apresentadas pela Figura 3, verifica-se que o aumento da temperatura do método de secagem à sombra (25,98° C) para a temperatura observada na estufa (51,18°C), proporciona maior taxa de secagem estimada.

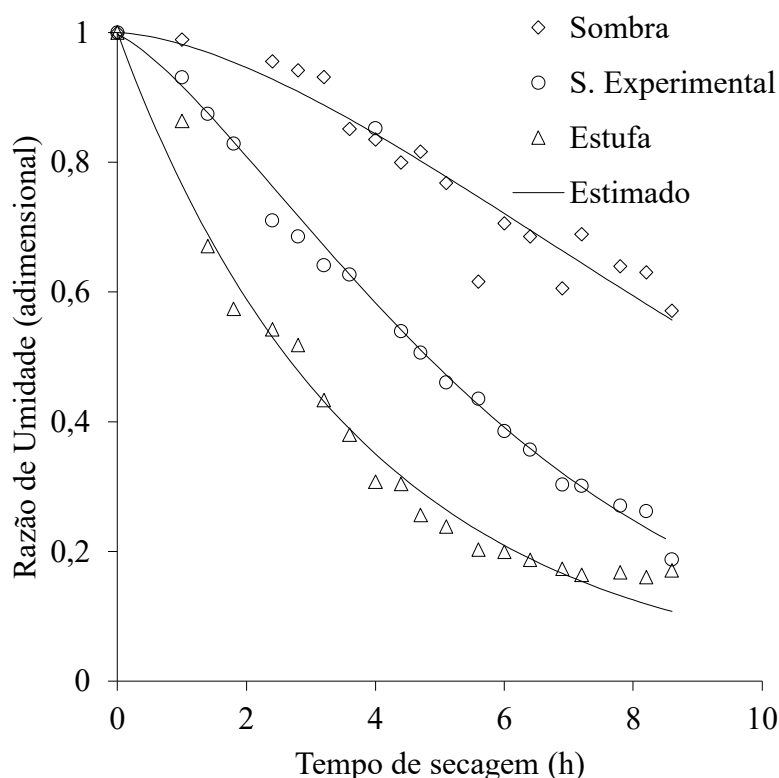


Figura 3. Curvas de secagem estimadas pelo modelo de Page aos dados experimentais das raspas de abóbora submetidas a diferentes métodos de secagem.

Percebe-se que o modelo se ajustou bem, pois os dados experimentais estão próximos da curva estimada. Observa-se através que na realização do método de secagem o que proporcionou a maior perda de água foi o secador experimental e que apresentou teor final de água maior foi o método de sombra (Figura 3).

As determinações das propriedades termodinâmicas podem ser observadas na Tabela 5. Verifica-se que a entalpia (ΔH) variou de 26,4091 para 26,2095 kJ mol^{-1} entre os métodos de secagem e, conseqüentemente, com o aumento da temperatura (25,98; 43,33 e 51,18 °C). Tal fato, aponta que menores valores de variação de entalpia indicam menor energia necessária para remover a água ligada ao produto durante a secagem, conforme explicado por Oliveira et al. (2010).

O valor obtido da entropia (ΔS) foi de -0,3114; -0,3119 e -0,3121 kJ mol^{-1} para o secador experimental, sombra e estufa, respectivamente. Os valores negativos ocorrem segundo Corrêa et al. (2011), durante o processo de secagem em razão de que o teor de água diminui e, portanto, o movimento das moléculas de água fica mais restrito, pois há menos sítios disponíveis. Este fato também pode ser observado para raspas de abóbora.

Ainda na Tabela 5, nota-se que os valores da energia livre de Gibbs (ΔG) aumentaram (119,7431; 125,1491 e 127,2302 kJ mol^{-1}), com a elevação da temperatura dos métodos de secagem (25,98; 43,33 e 51,18 °C), respectivamente. Neste caso, o processo de secagem não foi espontâneo, sendo necessária a adição de uma energia proveniente do ar em que as raspas de abóbora estivessem envoltas, para que ocorresse a redução do teor de água. Conforme esclarece Oliveira et al. (2015), a energia livre de Gibbs busca medir a totalidade de energia associada a um sistema termodinâmico e o seu valor positivo é explicado por uma adição de energia que envolve o produto para a ocorrência da mudança de fase (líquido para vapor).

Tabela 5. Propriedades termodinâmicas, entalpia (ΔH), entropia (ΔS) e energia livre de Gibbs (ΔG) obtidas pela cinética de secagem das raspas de abóbora, obtidos nos métodos de secagem à sombra, em estufa e em secador experimental

| | T(°C) | ΔH (kJ mol ⁻¹) | ΔS (kJ .mol ⁻¹) | ΔG (kJ mol ⁻¹) |
|-------------------|--------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Sombra | 25,985 | 26,4091* | -0,3114 ^{ns} | 119,7431* |
| Sec. Experimental | 43,33 | 26,2649* | -0,3119 ^{ns} | 125,1491* |
| Estufa | 51,18 | 26,2095* | -0,3121 ^{ns} | 127,2302* |

* Significativo a 5 % pelo teste F; ^{ns} não significativo.

CONCLUSÃO

O modelo proposto por Page é o que melhor representa a cinética de secagem das raspas de abóbora. A elevação da temperatura do ar de secagem, pelos métodos de secagem e condições estudados, proporciona o aumento da energia livre de Gibbs e da difusividade de água nas raspas de abóbora, reduz a entalpia e mantém a entropia negativa. O melhor método de secagem de raspas de abóbora foi o método de secagem secador experimental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARO, G. B.; PINHEIRO, J. B.; LOPES, J. F.; CARVALHO, A. D. F.; MICHEREFF FILHO, M.; VILELA, N. J. *Recomendações técnicas para o cultivo de abóbora híbrida do tipo japonesa*. Embrapa Hortaliça (Circular técnica). v.137. p.1-20. 2014.
- ARAÚJO, N. G.; ARAÚJO, P. M. A. G.; FURTADO, T. F. R. M.; PIRES, V. C. F.; *Obtenção da farinha da abóbora (Cucurbita moschata) e sua aplicação na elaboração de pão de forma*. 2012. 64^a Reunião Anual da SBPC. Disponível em: <<http://www.sbpcnet.org.br/livro/64ra/resumos/resumos/1415.htm>>. Acesso em: 23 set. 2019.
- ARÉVALO-PINEDO, A.; MURR, F. E. X. *Influência da pressão, temperatura e pré-tratamentos na secagem a vácuo de cenoura e abóbora*. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 25, n. 4, p. 636-643, 2005.

ASAE (American Society Of Agricultural Engineers). *Moisture measurement – ungrounded grains and seeds*, St. Joseph, 2000. p. 563.

BORGES, S. V.; MANCINI, M. C.; CORRÊA, J. L. G.; NASCIMENTO, D. A. *Secagem de fatias de abóboras (Cucurbita moschata, L.) por convecção natural e forçada*. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 28, n. 1, p. 245-251, 2008.

CARDOSO, I. R. M.; ZUNIGA, A. D. G.; FRONZA, P.; MACIEL, A. G.; FERREIRA, J. S. *Análise da cinética e modelagem matemática da secagem da polpa de buriti (Mauritia flexuosa l.)*. *ENGEVISTA*, v. 19, n.5, p. 1188-1197, 2017.

CORRÊA, P. C., BOTELHO, F. M., OLIVEIRA, G. H. H., GONELI, A. L. D., RESENDE, O., & CAMPOS, S. C. *Mathematical modeling of the drying process of corn ears*. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 33, n. 1, p. 575-581, 2011.

DIÓGENES, A. M. G.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; SANTOS, D. C. *Cinética de secagem de grãos de abóbora*. *Revista Caatinga*, v. 26, n. 1, p. 71-80, 2013.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. *Applied regression analysis*. New York: John Wiley & Sons, 1998. 712p.

FERREIRA, T. A.; OLIVEIRA, C. R.; CHAVES, P. P. N.; MILHOMENS, K. K. B.; *Indução da frutificação paternocárpica de frutos em híbrido de abóbora japonesa com 2,4-D sob condições de temperatura elevada*. *Nucleus*, [s.l.], v. 14, n. 1, p.145-152, 2017.

GOMES, N. H. F.; SILVA NETO, H. C.; ALVES, J. J. L.; RODOVALHO, R. S.; SOUSA, C. M. *Cinética de secagem de folhas de Cymbopogon citratus*. *ENGEVISTA*, v. 19, n. 2, p. 328-338, 2017.

LEMES, E. S.; ALMEIDA, A. S.; MENEGHELLO, G. E.; TUNES, L. M.; VILLELA, F. A.; *Germinação e vigor de sementes de abóbora tratadas com tiametoxam*. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, [s.l.], v. 45, n. 1, p.122-127, 2015.

MARTINAZZO, A. P.; MELO, E. C.; DEMUNER, A. J.; BERBET, P. A. *Avaliação do óleo essencial folhas de Cymbopogon citratus (DC.) Stapf após o processo de secagem*. Boletim Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas. v. 12, p. 115-122, 2013.

NAVES, L. P.; CORRÊA, A. D.; SANTOS, C. D.; ABREU, C. M. P.; *Componentes antinutricionais e digestibilidade protéica em sementes de abóbora (Cucurbita maxima) submetidas a diferentes processamentos*. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 30, n. 1, p. 180-184, 2010.

OLIVEIRA, D. E. C. de.; RESENDE, O.; SMANIOTTO, T. A. de S.; SOUSA, K. A. de.; CAMPOS, C. C.; *Propriedades termodinâmicas de grãos de milho para diferentes teores de água de equilíbrio*. Pesquisa Agropecuária **Tropical**, [s.l.], v. 43, n. 1, p.50-56, 2013.

OLIVEIRA, G. H. H.; ARAGÃO, D. M. S.; OLIVEIRA, A. P. L. R.; SILVA, M. G.; GUSMÃO, A. C. A. *Modelagem e propriedades termodinâmicas na secagem de morangos*. Brazilian Journal of Food Technology, v. 18, n. 4, p. 314-321, 2015.

OLIVEIRA, G. H. H.; CORRÊA, P. C.; ARAÚJO, E. F.; VALENTE, D. S. M.; BOTELHO, F. M. *Desorption isotherms and thermodynamic properties of sweet corn cultivars (Zea mays L.)*. International Journal of Food Science and Technology, v. 45, n. 3, p. 546-554, 2010.

PEREZ, L. G.; OLIVEIRA, F. M. N.; ANDRADE, J. S.; MOREIRA FILHO, M. *Cinética de secagem da polpa cupuaçu (Theobroma grandiflorum) pré desidratada por imersão-impregnação*. Revista Ciência Agronômica, v. 44, n. 1, p. 102-106, 2013.

RESENDE G. M. de, BORGES R. M. E., GONÇALVES N. P. S. *Produtividade da cultura da abóbora em diferentes densidades de plantio no Vale do São Francisco*. Horticultura Brasileira, v. 31, n. 3, p. 504-8, 2013.

SANTOS, C. M. dos et al. *Preparação, caracterização e análise sensorial de pão integral enriquecido com farinha de subprodutos do mamão*. Brazilian Journal Of Food Technology, v. 21, p.1-9, 2018.

SILVA, E. S. S.; OLIVEIRA, J.; MACHADO, A. V. COSTA, R. O.; *Secagem de Grãos e Frutas: Revisão Bibliográfica*; Revista Brasileira de Agrotecnologia, v. 5, n.1, p. 19-23, 2015.

SILVA, J. P. S.; OLIVEIRA, V. H. Q.; SANTOS, S. G. F. dos.; RODOVALHO, R. S.; QUEIROZ, J. S.; SILVA, D. P.; *Cinética de secagem dos grãos de soja em secador experimental*. Global Science And Technology, v. 12, n. 12, p.15-30, 2019.

UCHÔA THOMAZ, A. M. A.; SOUSA, E. C.; LIMA, A.; LIMA, R. M. T.; FREITAS, P. A. P.; SOUSA, M. A. M; THOMAZ, J. C. A.; CARIOCA, O.B.; *Elaboração e aceitabilidade de produtos de panificação enriquecidos com semente de goiaba (Psidium guajava L.) em pó*. Holos, [s.l.], v. 5, p.199-210, 2014.