



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**



**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO DE  
PRODUTOS AGRÍCOLAS**

**PRODUÇÃO DE FARINHA DE SEMENTES GERMINADAS DE ABÓBORA**

**JOÃO PAULO DE LIMA FERREIRA**

CAMPINA GRANDE, PB

FEVEREIRO - 2017

**JOÃO PAULO DE LIMA FERREIRA**

**PRODUÇÃO DE FARINHA DE SEMENTES GERMINADAS DE ABÓBORA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

**ORIENTADORES: Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz**

**Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo**

CAMPINA GRANDE, PB

FEVEREIRO - 2017

F383p      Ferreira, João Paulo de Lima.  
                Produção de farinha de sementes germinadas de abóbora / João Paulo de Lima Ferreira. – Campina Grande, 2017.  
                69 f. : il.

                Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2017.  
                "Orientação: Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo".  
                Referências.

                1. Farinha – Produção. 2. *Cucurbita Moshata*. 3. Secagem. 4. Isotermas de Adsorção. I. Queiroz, Alexandre José de Melo. II. Figueirêdo, Rossana Maria Feitosa de. III. Título.

CDU 664.641(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO

**JOÃO PAULO DE LIMA FERREIRA**

**“PRODUÇÃO DE FARINHA DE SEMENTES GERMINADAS DE ABÓBORA”**

**APROVADA: 24 de fevereiro de 2017**

**BANCA EXAMINADORA**



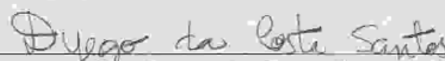
**Dr. Alexandre José de Melo Queiroz**  
Orientador – UAEA/CTRN/UFCG



**Dr<sup>a</sup>. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo**  
Orientadora – UAEA/CTRN/UFCG



**Dr<sup>a</sup>. Tânila Kassimura da Silva Fernandes**  
Examinadora – IFPB



**Dr. Dyego da Costa Santos**  
Examinador – CNPQ/PDJ

## AGRADECIMENTOS

A Deus acima de tudo, por guiar todos os meus passos pelas estradas com falhas, alegrias, tristezas e decepções, na busca de um ideal. Hoje me sinto mais realizado e agradeço-lhe pela oportunidade de realizar mais um sonho.

À minha família, por todo o apoio e confiança. Ao meu pai, Francisco por ter me mostrado que a paciência é um dom de Deus; à minha mãe de coração, Fátima, por ter me ensinado o que é força e perseverança e por sempre acreditar em mim; à minha amada esposa, Cibelle, pela compreensão e companheirismo; ao meu filho João Pedro por toda a paciência e suportar a minha ausência em momentos importantes; à minha cunhada Carla e meu amigo Ewerton, dos quais não poderia esquecer, por todo o suporte dado ao meu príncipe.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz e a Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo pela paciência, orientação integral e compreensão, deixando-me cada vez mais próximo dessa realização.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pelo conhecimento compartilhado, contribuindo para a minha formação profissional e por abrirem todas as portas possíveis para viabilizar e tornar concreto esse projeto.

À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, que financiou a bolsa de estudo.

Ao apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil.

Aos meus colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em especial Jackson, Dyego, Regilane, Daniela, Leiliane e Joyce, com os quais dividi muitas aflições, pela amizade e companheirismo nessa longa jornada.

Aos colegas do Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA) (Bloco - CZ), principalmente Jemima, Maria, Matheus, Joabis, Lumara e Raucha com os quais compartilhei muitas alegrias, por todo o carinho e parceria.

Aos que contribuíram direta e indiretamente para que essa pesquisa fosse realizada.

**A todos, muito obrigado!**

*Ao meu filho João Pedro, à minha esposa Cibelle por todo apoio, estímulo e paciência, a meu pai Francisco e à minha mãe de coração Fátima.*

*Dedico*

*“A simplicidade é o último degrau da sabedoria”*

*Khalil Gibran*

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>iii</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>iv</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>vii</b>
<b>1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 - Objetivos.....	3
1.1.1 - Objetivo geral.....	3
1.1.2 - Objetivos específicos.....	3
<b>2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
2.1 - Sementes de abóbora.....	4
2.2 - Influência da germinação nas propriedades físico-químicas das sementes.....	5
2.3 - Secagem.....	7
2.4 - Propriedades físicas e químicas de farinhas.....	9
2.5 - Isotermas de sorção de água.....	11
<b>3 - MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>13</b>
3.1 - Local de realização do trabalho.....	13
3.2 - Matéria-prima.....	13
3.3 - Obtenção das sementes de abóbora.....	13
3.4 - Caracterização físico-química das sementes de abóbora <i>in natura</i> .....	14
3.4.1 - Teor de água.....	14
3.4.2 - Proteínas.....	14
3.4.3 - Lipídeos.....	14
3.4.4 - Cinzas.....	14
3.4.5 - Carboidratos.....	14
3.4.6 - Açúcares redutores.....	15
3.4.7 - Compostos fenólicos.....	15
3.4.8 - Taninos.....	15
3.5 - Germinação das sementes de abóbora.....	15
3.6 - Caracterização físico-química das sementes de abóbora germinadas.....	15
3.7 - Cinética de secagem das sementes de abóbora germinadas.....	16
3.8 - Obtenção das farinhas das sementes de abóbora germinadas.....	20
3.9 - Propriedades físicas e físico-químicas das farinhas de sementes de abóbora	



germinadas.....	20
3.9.1 - Acidez total titulável (ATT).....	20
3.9.2 - Cor.....	20
3.9.3 - Densidade aparente.....	20
3.9.4 - Densidade compactada.....	21
3.9.5 - Fator de Hausner (FH).....	21
3.9.6 - Índice de Carr (IC).....	22
3.9.7 - Solubilidade.....	22
3.9.8 - Molhabilidade.....	23
3.9.9 - Isotermas de adsorção de água das farinhas.....	23
3.10 - Análise estatística.....	25
<b>4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>26</b>
4.1 - Caracterização físico-química das sementes de abóbora <i>in natura</i> e germinadas.....	26
4.2 - Cinética de secagem das sementes de abóbora germinadas.....	29
4.3 - Caracterização física e físico-química das farinhas de sementes de abóbora germinadas.....	40
4.3.1 - Acidez total titulável (ATT).....	40
4.3.2 - Lipídeos.....	41
4.3.3 - Intensidade de vermelho (+a*).....	41
4.3.4 - Intensidade de amarelo (+b*).....	42
4.3.5 - Luminosidade (L*).....	43
4.3.6 - Densidade aparente.....	44
4.3.7 - Densidade compactada.....	44
4.3.8 - Fator de Hausner (FH).....	45
4.3.9 - Índice de Carr (IC).....	46
4.3.10 - Solubilidade.....	46
4.3.11 - Molhabilidade.....	47
4.4 - Isotermas de adsorção das farinhas de sementes de abóbora germinadas.....	48
<b>5 - CONCLUSÕES.....</b>	<b>52</b>
<b>6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>53</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 4.1</b> - Curvas de secagem das sementes de abóbora germinadas nas velocidades do ar de secagem de 0,7 (A), 1,0 (B) e 1,3 m s <sup>-1</sup> (C) e temperaturas de 50 (D), 60 (E) e 70 °C (F).....	31
<b>Figura 4.2</b> - Taxas de secagem das sementes de abóbora germinadas nas temperaturas de 50 (A), 60 (B) e 70 °C (C) em diferentes velocidades do ar.....	32
<b>Figura 4.3</b> - Valores experimentais médios e valores estimados do coeficiente de difusão efetivo ( $D_{ef}$ ) em função da temperatura e representação de Arrhenius para os coeficientes de difusão de sementes de abóbora germinadas em diferentes velocidades do ar de secagem.....	38
<b>Figura 4.4</b> - Isotermas de adsorção de água à 25 °C das farinhas obtidas de sementes de abóbora germinadas secas nas temperaturas de 50 (A), 60 (B) e 70 (C) °C em diferentes velocidades do ar.....	51

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1</b> - Modelos matemáticos utilizados para estimar as curvas de cinética de secagem de sementes de abóbora germinadas.....	17
<b>Tabela 4.1</b> - Valores médios dos parâmetros analisados, em base seca, nas sementes de abóbora <i>in natura</i> e germinadas.....	26
<b>Tabela 4.2</b> - Parâmetros estatísticos dos modelos ajustados aos dados experimentais da secagem das sementes de abóbora germinadas.....	34
<b>Tabela 4.3</b> - Parâmetros estatísticos e coeficientes dos modelos mais bem ajustados aos dados experimentais da secagem das sementes de abóbora germinadas.....	35
<b>Tabela 4.4</b> - Valores médios da acidez total titulável (% ácido oleico, b.s.) das farinhas de sementes de abóbora germinadas obtidas em diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem.....	40
<b>Tabela 4.5</b> - Valores médios dos lipídeos (% b.s.) das farinhas de sementes de abóbora germinadas obtidas em diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem.....	41
<b>Tabela 4.6</b> - Valores médios da intensidade de vermelho (+a*) das farinhas de sementes de abóbora germinadas obtidas em diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem.....	42
<b>Tabela 4.7</b> - Valores médios da intensidade de amarelo (+b*) das farinhas de sementes de abóbora germinadas obtidas em diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem.....	43
<b>Tabela 4.8</b> - Valores médios da luminosidade (L*) das farinhas de sementes de abóbora germinadas obtidas em diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem.....	43
<b>Tabela 4.9</b> - Valores médios das densidades aparentes ( $\text{g cm}^{-3}$ ) das farinhas de sementes de abóbora germinadas obtidas em diferentes temperaturas de secagem e velocidades do ar.....	44
<b>Tabela 4.10</b> - Valores médios das densidades compactadas ( $\text{g cm}^{-3}$ ) das farinhas de sementes de abóbora germinadas obtidas em diferentes temperaturas de secagem e velocidades do ar.....	45
<b>Tabela 4.11</b> - Valores médios do fator de Hausner das farinhas de sementes de abóbora germinadas obtidas em diferentes temperaturas de secagem e velocidades do ar.....	45
<b>Tabela 4.12</b> - Valores médios do Índice de Carr (%) das farinhas de sementes de abóbora	

germinadas obtidas em diferentes temperaturas de secagem e velocidades do ar.....	46
<b>Tabela 4.13</b> - Valores médios da solubilidade (%) das farinhas de sementes de abóbora germinadas obtidas em diferentes temperaturas de secagem e velocidades do ar.....	47
<b>Tabela 4. 14</b> - Valores médios da molhabilidade ( $\text{mg s}^{-1}$ ) das farinhas de sementes de abóbora germinadas obtidas em diferentes temperaturas de secagem e velocidades do ar.....	47
<b>Tabela 4.15</b> - Parâmetros dos ajustes dos modelos matemáticos de Oswin, GAB e Peleg com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P).....	48

## RESUMO

As sementes da abóbora constituem um subproduto do processamento do fruto, sendo descartadas, na maioria dos casos, sem mais aplicações. A germinação é um método simples que tem a capacidade de reduzir a concentração dos compostos antinutricionais das sementes, melhorar a sua qualidade nutricional e as propriedades tecnológicas das farinhas produzidas. Diante do exposto, objetivou-se produzir farinha de sementes germinadas de abóbora. A germinação das sementes foi realizada utilizando-se como substrato papel germiteste, em estufa de germinação à 25 °C durante 48 h. As sementes de abóbora *in natura* e germinadas foram caracterizadas quanto aos parâmetros químicos e físico-químicos. As sementes germinadas foram submetidas à secagem convectiva, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C e velocidades do ar de 0,5; 1,0 e 1,3 m s<sup>-1</sup>, determinando-se as cinéticas de secagem. Os dados experimentais foram ajustados a diferentes modelos matemáticos frequentemente utilizados na representação da cinética de secagem de produtos agrícolas. Os coeficientes de difusão efetivos, calculados a partir do modelo matemático de difusão líquida, foram utilizados para obter a energia de ativação. Após as secagens, as sementes foram trituradas e as farinhas obtidas foram avaliadas quanto às propriedades físicas, químicas e físico-químicas. As isotermas de adsorção de água das farinhas foram determinadas na temperatura de 25 °C e os modelos matemáticos de Oswin, GAB e Peleg foram ajustados aos dados experimentais. Verificou-se que a germinação das sementes de abóbora provocou aumento no seu teor de água, proteínas, lipídeos e açúcares redutores, mas redução no teor de carboidratos, cinzas, compostos fenólicos e taninos. Os modelos de Aproximação da Difusão, Dois Termos, Midilli et al., Page e Thompson mostraram bons ajustes aos dados experimentais de secagem. O aumento da temperatura de secagem promoveu redução no tempo de secagem das sementes, aumento na taxa de remoção de água e dos coeficientes de difusão efetivos. A energia de ativação para a secagem de sementes de abóbora germinadas variou de 2,73 a 8,11 kJ mol<sup>-1</sup>; com a elevação da temperatura de secagem ocorreu aumento da acidez total titulável, dos lipídeos, da intensidade de vermelho (+a\*), da intensidade de amarelo (+b\*), da densidade aparente e compactada, mas redução da luminosidade (L\*), da solubilidade e da molhabilidade; o modelo de Peleg apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais das isotermas apresentando os maiores coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) e os menores desvios percentuais médios (P).

**Palavras-chaves:** *Cucurbita moschata*, secagem, isotermas de adsorção

## ABSTRACT

Pumpkin seeds constitute a byproduct of fruit processing, being discarded, in most cases, without further applications. Germination is a simple method that has the capacity to reduce the concentration of the antinutritional compounds of the seeds and improve their nutritional quality and the technological properties of the flours produced. Given the above, this study aimed to produce flour from germinated pumpkin seeds. Seed germination was carried out using Germitest paper as substrate in a germination chamber at 25 °C for 48 h. Fresh and germinated pumpkin seeds were characterized with respect to chemical and physicochemical parameters. Germinated seeds were subjected to convective drying at temperatures of 50, 60 and 70 °C and air speeds of 0.5, 1.0 and 1.3 m s<sup>-1</sup>, determining their drying kinetics. Different mathematical models frequently used to represent the drying kinetics of agricultural products were fitted to the experimental data. The effective diffusion coefficients, calculated from the mathematical model of liquid diffusion, were used to obtain the activation energy. After drying, the seeds were ground and the flours obtained were evaluated for physical, chemical and physicochemical properties. Water adsorption isotherms of the flours were determined at the temperature of 25 °C and the mathematical models Oswin, GAB and Peleg were fitted to the experimental data. It was found that the germination of pumpkin seeds increased their contents of water, proteins, lipids and reducing sugars, but reduced the contents of carbohydrates, ashes, phenolic compounds and tannins. The models Approximation of Diffusion, Two Terms, Midilli et al., Page and Thompson fitted well to the experimental drying data. The increase in drying temperature reduced the drying time of the seeds and increased the water removal rate and effective diffusion coefficients. The activation energy for the drying of germinated pumpkin seeds ranged from 2.73 to 8.11 kJ mol<sup>-1</sup>. Increasing drying temperature led to increments in the total titratable acidity, lipids, red intensity (+a\*), yellow intensity (+b\*), apparent and compact density, but caused reductions in luminosity (L\*), solubility and wettability. The Peleg model fitted best to the experimental data of the isotherms, showing the highest coefficients of determination (R<sup>2</sup>) and lowest mean percentage deviations (P).

Key words: *Cucurbita moschata*, drying, water adsorption isotherms

**Keywords:** *Cucurbita moschata*, drying, adsorption isotherms

## **1 - INTRODUÇÃO**

De acordo com a divisão de estatística da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), a produção mundial de abóbora entre 1994 e 2014 aumentou cerca de 46,8%, com uma produção de mais de 25 milhões de toneladas no ano de 2014 - 62% na Ásia, 16,1% na Europa, 11,6% na América, 8,9% na África e 1,4% na Oceania (FAO, 2017).

A polpa de abóbora é consumida na forma de sucos, purês, compotas, tortas, doces e, quando transformada em farinha, pode ser utilizada como ingrediente funcional e nutricional em produtos de confeitaria, produtos lácteos (iogurte, sorvete), sopas, molhos e como suplemento alimentar para atletas (QUE et al., 2008; AYDIN e GOCMEN, 2015; JIAO et al., 2014). Os resíduos gerados durante o processamento da abóbora consistem, principalmente, de cascas e sementes que são descartadas, na maioria dos casos, sem mais aplicações. As sementes de abóbora correspondem a aproximadamente 3,3% do peso total do fruto *in natura* (YAVUZA et al., 2015), por consequência, pode ser estimado que, apenas no ano de 2014, mundialmente, cerca de 825 mil toneladas de sementes foram tratadas como resíduo, contribuindo com o grave problema da poluição ambiental.

Estudos têm apontado à quantidade significativa de nutrientes das sementes de abóbora e como essa pode ser convertida em produtos que podem ser utilizados como fonte alternativa de alimentos, oferecendo assim uma grande oportunidade para melhor utilização desses resíduos. Rezig et al. (2012) estudando as propriedades físico-químicas de sementes de abóbora (*Cucurbita máxima*) verificaram valores, em base seca, de proteínas, fibras, cinzas, lipídeos e açúcares totais de 33,92, 21,97, 3,97, 31,57 e 0,11%, respectivamente.

Além disso, as sementes de abóbora podem ser utilizadas na formulação de outros produtos, oferecendo assim uma grande oportunidade para melhor utilização desses resíduos. Moura et al. (2010) avaliando o efeito da adição de diferentes frações da farinha de sementes de abóbora, em substituição parcial à farinha de trigo, nas propriedades químicas e sensoriais de biscoitos tipo “cookie”, observaram uma melhora no valor nutricional dos biscoitos e boa aceitação sensorial.

Apesar de seu conteúdo nutricional e das propriedades sensoriais de seus produtos as sementes de abóbora possuem fatores antinutricionais que podem diminuir à biodisponibilidade dos seus nutrientes, especialmente das proteínas (MOURA et al., 2010). A germinação surge como um método simples capaz de reduzir a concentração dos

compostos antinutricionais presentes em alguns tipos de sementes (UWAEGBUTE et al., 2000). Em estudo realizado por Hejazi et al. (2016) sobre o efeito da germinação na digestibilidade proteica e na concentração de fatores antinutricionais de sementes de amaranto (*Amaranthus caudatus* L.). Eles observaram redução de 30% no teor de ácido fítico e 38% no teor de oxalato, ambos fatores antinutricionais.

Além de causar a redução da concentração dos compostos antinutricionais a germinação, também promove a melhora das propriedades nutricionais, o aumento da concentração de compostos bioativos e da atividade antioxidante das sementes.

Avaliando o efeito da germinação sobre o valor nutritivo e de compostos bioativos do gérmen de soja, Kim et al. (2013) constataram que a germinação induziu um ligeiro crescimento no teor de proteínas e fibras como também considerável aumento no teor de aminoácidos. Em relação aos compostos bioativos, o conteúdo de tocoferol e isoflavonas mostrou um rápido acréscimo durante a germinação.

Estudando a influência da germinação sobre as propriedades físico-químicas e atividade antioxidante do arroz integral, Thiyajai et al. (2016) observaram que o processo de germinação provocou aumento da concentração de compostos fenólicos e na sua atividade antioxidante, também verificaram que o arroz germinado continha cerca de duas vezes mais proteínas (7,62% b.s.) do que o arroz *in natura* (3,2% b.s.).

Geralmente as farinhas de sementes germinadas apresentam melhores propriedades tecnológicas, quando comparadas às farinhas de sementes *in natura*. Adebisi et al. (2016) estudando a influência da germinação do milho (*Pennisetum glaucum*) nas propriedades funcionais de sua farinha, verificaram que o processo de germinação forneceu uma farinha com melhores propriedades funcionais, quando comparado com a farinha de milho *in natura*, resultando no aumento da sua capacidade de absorção de água e óleo e diminuição na densidade aparente.

No entanto, o teor de água das sementes aumenta consideravelmente após o processo de germinação (KOMATSUZAKI et al., 2007; MOHAN et al., 2010), propiciando condições para rápida deterioração. Assim, a secagem, essencial para a conservação de grãos, é operação obrigatória para a preservação de materiais adstritos a esse tipo de processamento.

Materiais pouco estudados quando submetidos a processos de perda de água exigem, para sua completa descrição, a determinação experimental da cinética de secagem. Com as informações obtidas por meio da cinética é possível estimar o tempo e a taxa de



secagem, bem como as propriedades de transporte de água do produto, como a difusividade efetiva e a energia de ativação.

Conforme exposto observou-se que o processo de germinação tem a capacidade de melhorar as propriedades físico-químicas das sementes germinadas e seus produtos e que houve, ainda, a existência do potencial de aproveitamento das sementes de abóbora para a alimentação humana. Logo, surge como alternativa o uso das sementes germinadas de abóbora, justificando a realização de estudos sobre a influência da germinação e da secagem nas propriedades químicas, físicas e físico-químicas das sementes de abóbora e dos produtos obtidos de seu processamento, de forma que possam incentivar o seu uso como aditivo em formulações de alimentos.

## **1.1 – Objetivos**

### **1.1.1 - Objetivo geral**

Produzir farinha de sementes germinadas de abóbora.

### **1.1.2 - Objetivos específicos**

- Caracterizar quanto aos parâmetros químicos e físico-químicos as sementes de abóbora *in natura*;
- Germinar as sementes de abóbora em condições controladas ( $T = 25\text{ °C}$ ; UR= 70%);
- Caracterizar quanto aos parâmetros químicos e físico-químicos as sementes germinadas de abóbora;
- Secar as sementes germinadas nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C e velocidades do ar de secagem de 0,7, 1,0 e 1,3  $\text{m s}^{-1}$ , em secador convectivo, determinando-se as cinéticas de secagem;
- Determinar as propriedades químicas, físicas e físico-químicas das farinhas das sementes germinadas obtidas nas diferentes temperaturas (50, 60, 70 °C) e velocidades do ar (0,7; 1,0 e 1,3  $\text{m s}^{-1}$ ); e,
- Determinar as isotermas de adsorção de água das farinhas das sementes germinadas de abóbora, na temperatura de 25 °C.

## 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 - Sementes de abóbora

Entre as cucurbitáceas existentes no Brasil a abóbora (*Curcubita moschata*) é uma das mais apreciadas não só por suas características sensoriais, como também pela qualidade nutricional, na qual se destaca por ser fonte de fibras, compostos bioativos,  $\beta$ -caroteno, vitamina A e tocoferol (ZHANG et al., 2000; WANG et al., 2002), outras vitaminas (B6, K, C, tiamina e riboflavina) e minerais (K, P, Mg, Fe e Se) (NAWIRSKA et al., 2009).

Na literatura, encontram-se diversos trabalhos que demonstram o interesse da comunidade científica nas propriedades nutricionais e no desenvolvimento de novos produtos a partir da polpa de abóbora (KONOPACKA et al., 2010; GUINÉ et al., 2011; GUINÉ e BARROCA, 2012; FERREIRA et al., 2016). Os resíduos gerados durante o processamento da abóbora consistem, principalmente, de cascas e sementes que são descartadas, na maioria dos casos, sem mais aplicações.

Nos últimos anos, as sementes de abóbora tem recebido mais atenção dos pesquisadores, devido a sua qualidade em nutrientes e a presença de substâncias com propriedades antioxidantes. Belmiro et al. (2010) avaliando as características físico-químicas de sementes de abóbora (*Cucurbita moschata*), com diferentes teores de água, encontraram valores de proteínas, cinzas, amido e fibra bruta variando de 26,99-28,56%; 3,73-4,09%; 5,23-7,94% e 44,65-46,13%, respectivamente.

Rezig et al. (2012) estudando as propriedades físico-químicas das sementes de abóbora (*Cucurbita maxima*), encontraram, valores expresso em relação ao peso seco de proteínas, fibras, cinzas, lipídeos e açúcares totais de 33,92; 21,97; 3,97; 31,57 e 0,11%, respectivamente, no óleo das sementes foi detectado um conteúdo de fenólicos totais de 23,6 mg/100 g e uma atividade antioxidante capaz de reduzir 36,22% de radicais DPPH.

Avaliando a composição química e a atividade antioxidante de sementes de diferentes variedades de abóbora, Nawirska-Olszańska et al. (2013) observaram que as cultivares pertencentes à espécie *Cucurbita maxima* são caracterizadas por um teor mais elevado de lipídeos, quando comparadas às cultivares da espécie *Cucurbita pepo*, contudo, essas apresentaram melhores propriedades antioxidantes.

As sementes de abóbora podem ser consumidas na forma *in natura*, cozidas ou torradas (salgadas ou não) e quando transformadas em farinha, podem ser utilizadas na

elaboração de biscoitos, pães e bolos (LIU et al., 2013). Naves et al. (2010) estudando a composição nutricional da farinha de sementes de abóbora (*Cucurbita maxima*), encontraram valores médios em base seca de proteína bruta, fibra alimentar, extrato etéreo e cinzas de 29,54; 22,40; 36,41 e 3,48%, respectivamente.

Borges et al. (2006) avaliando o efeito da adição de 30% de farinha de sementes de abóbora (*Curcubita moschata*), em substituição à farinha de trigo, nas propriedades sensoriais de biscoitos tipo “cookie”, constataram excelente aceitação global (superior a 80% entre os escores gostei extremamente e muito) e alta intenção de compra (superior a 77% comprariam o biscoito).

## 2.2 - Influência da germinação nas propriedades físico-químicas das sementes

A germinação é um processo natural que melhora o perfil nutricional e a biodisponibilidade dos nutrientes das sementes. Moongngarm e Saetung (2010) estudando as alterações da germinação na composição química do arroz (*Oryza sativa* L.), verificaram que a concentração de proteínas e de aminoácidos livres totais no arroz germinado foi significativamente maior ( $p < 0,05$ ) que no arroz não germinado, não havendo diferença significativa nos níveis de lipídeos, carboidratos e cinzas.

Tian et al. (2010) investigando o efeito da germinação nas propriedades físico-químicas de sementes de aveia (*Avena nuda* L.), observaram que o teor de amido das sementes diminuiu consideravelmente de 59,80 para 20,87% (b.s.), o teor de açúcares redutores aumentou de 5,23 para 28,11% (b.s.), a concentração de proteínas aumentou ligeiramente e a de ácido fítico diminuiu de 0,35 para 0,11% (b.s) após a germinação.

A influência da germinação na composição físico-química de dois tipos de sementes de arroz, *Indica* (variedade Jaya) e *Japonica* (variedade Yamadanishiki) foi estudada por Mohan et al. (2010) e foi observado que após a germinação ocorreu um aumento no teor de água, fibras totais, açúcares e cinzas dos dois tipos de arroz.

Relatos comprovam que o processo de germinação tem influência positiva na concentração de compostos bioativos e na capacidade antioxidante de vários tipos de sementes. López-Amorós et al. (2006) estudando o efeito da germinação nos compostos bioativos e na atividade antioxidante de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), lentilha (*Lens culinaris* L.) e ervilha (*Pisum sativum* L.), verificaram que a germinação modificou a composição fenólica, quantitativa e qualitativamente, das sementes. As alterações dependem do tipo de semente e das condições de germinação, além disso, essas

alterações influenciaram a atividade antioxidante, nas quais as sementes de ervilha e feijão sofreram um aumento significativo na atividade antioxidante após a germinação, enquanto, a semente de lentilha mostrou uma diminuição.

Dueñas et al. (2009) avaliando o efeito da germinação na concentração de compostos fenólicos e atividade antioxidante de sementes de tremço (*Lupinus angustifolius* L.), verificaram que a concentração (base seca) de compostos fenólicos totais das sementes germinadas (24,37 mg g<sup>-1</sup>), foi superior a concentração nas sementes *in natura* (8,56 mg g<sup>-1</sup>), bem como da sua atividade antioxidante.

Cevallos-Casals e Cisneros-Zevallos (2010) pesquisando os conteúdos de fenólicos totais e a atividade antioxidante de vários tipos de sementes germinadas, observaram que o aumento da concentração, em base seca, de compostos fenólicos foi acompanhado por elevação da capacidade antioxidante de todos os tipos de sementes germinadas estudadas, e o conteúdo de compostos fenólicos das sementes germinadas variou de 490 (lentilha) a 5676 (mostarda) mg de ácido clorogênico 100<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup>, com as sementes de girassol apresentando a maior capacidade antioxidante (40,0 mg de Trolox g<sup>-1</sup>) em comparação com as outras sementes estudadas.

Huang et al. (2014) analisando os conteúdos de fenólicos totais, ácido ascórbico e isoflavonas bem como as capacidades antioxidantes de sementes de soja (*Glycine max* L.) e feijão-mungo (*Vigna radiate* L.) durante a germinação, verificaram que a germinação teve efeito positivo sobre os compostos bioativos nos feijões e que a germinação de três dias foi o tempo ideal para a produção de maior quantidade, em base seca, de isoflavonas totais na soja (4,68 mg g<sup>-1</sup>).

Pesquisas demonstraram que as farinhas de sementes germinadas e seus produtos apresentaram suas propriedades sensoriais melhoradas. Obatolu (2002) analisou, após extrusão, as propriedades físico-químicas e sensoriais da pasta formada pela mistura de farinhas de milho e soja germinados, e observou maior valor proteico (28,9% b.u.) nas pastas de farinhas das sementes germinadas, quando comparado a pasta das sementes *in natura* na mesma proporção, além disso, a avaliação sensorial mostrou que as propriedades sensoriais das pastas melhoraram com o aumento da quantidade de farinha de sementes germinadas adicionada.

Elkhalifa e Bernhardt (2010) estudando as propriedades funcionais de farinhas de sementes de sorgo germinadas, concluíram que a germinação promoveu o aumento da solubilidade proteica, poder de gelificação, capacidade de absorção de água e de óleo,

estabilidade da emulsão e redução da densidade aparente, em relação à farinha obtida de sementes de sorgo não germinadas.

Bhol e Bosco (2014) investigando os efeitos da substituição de farinha de milho germinado e farinha de sementes de feijão sobre as características sensoriais de pães, os pesquisadores verificaram que o pão com farinha de milho germinado apresentou melhores características sensoriais e atributos de textura em comparação com o pão incorporado apenas com farinha de sementes de feijão.

Estudo realizado por Marti et al. (2017) mostrou que a farinha de sementes trigo germinado pode ser usada para melhorar o desempenho tecnológico das farinhas comerciais, pois mostra atividade enzimática aumentada sem comprometer as propriedades de agregação das proteínas que formam o glúten.

### **2.3 - Secagem**

Entre as técnicas mais utilizadas para manter a qualidade pós-colheita de produtos agrícolas, a secagem é a mais empregada, cujo objetivo principal é o de remover, total ou parcialmente, a água do produto para um nível em que as reações de caráter químico e bioquímico, bem como o desenvolvimento de microrganismos sejam minimizadas (SILVA et al., 2008; SILVA et al., 2009; PROMMAS et al., 2010).

A secagem por convecção é definida como um processo de remoção de água que envolve a transferência simultaneamente de calor e de massa. O calor é transferido por convecção do ar aquecido para o produto e a transferência de massa ocorre tanto do interior do material para sua superfície, como desta, na forma de vapor de água, para o ar de secagem. A velocidade de transferência de calor e massa está, por consequência, relacionada com a velocidade e a temperatura do ar de secagem (BEZERRA et al., 2015).

A modelagem matemática do processo de secagem é uma ferramenta que permite melhor descrever o processo e determinar as melhores condições operacionais. Na literatura é possível encontrar estudos, realizados por vários grupos de pesquisas, sobre o processo de secagem de inúmeros tipos de sementes. Tarigan et al. (2007) estudaram a secagem de sementes de avelã nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C e velocidades do ar de secagem de 0,67 e 1 m s<sup>-1</sup>, os resultados mostraram que a medida que a temperatura aumenta, ocorre a elevação na taxa de secagem com redução significativa no tempo necessário para as amostras atingirem a umidade de equilíbrio e o efeito da velocidade do ar de secagem, sobre a taxa de secagem, foi relativamente pequeno. Verificaram ainda que

dentre os modelos estudados, o de Page foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais da secagem das amostras nas diferentes condições de secagem, uma vez que, apresentou valores de coeficientes de determinação ( $R^2 \geq 0,993$ ) e de desvio relativo médio (DRM)  $\leq 0,030$ .

Roberts et al. (2008) no estudo da secagem de sementes residuais de uvas nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C e velocidade do ar constante em 1,5 m s<sup>-1</sup>, observaram que o tempo de secagem diminuiu com o aumento da temperatura de secagem, constatando que os modelos de Page, Lewis e Henderson e Pabis produziram ajustes precisos das curvas de secagem, apresentando  $R^2 > 0,970$  e desvios quadráticos médios (DQM)  $< 0,07$ , os valores de difusividade efetiva das sementes variaram entre  $1,57 \times 10^{-10}$  e  $8,03 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> e a energia de ativação entre 30,45 e 40,14 kJ mol<sup>-1</sup>.

Hasan et al. (2014) estudando a secagem em camada fina de sementes de arroz híbrido em diferentes temperaturas (40 a 60 °C), umidades relativas (10 a 15%) e velocidades do ar de secagem (0,55 a 0,65 m s<sup>-1</sup>), constataram que a taxa de secagem aumenta com o aumento da temperatura do ar de secagem, concluindo que entre os modelos estudados o de Midilli foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais da secagem das amostras nas diferentes condições de secagem, uma vez que apresentou os maiores valores de  $R^2$ , superiores a 0,983, e os menores valores de DQM inferiores a 0,117.

Chielle et al. (2016) analisaram a secagem de sementes de mamão (*Carica papaya* L.) em diferentes temperaturas (40 a 100 °C) e velocidades do ar (1 a 3 m s<sup>-1</sup>), e observaram que a taxa de secagem foi diretamente proporcional ao aumento da temperatura e foi pouco influenciada pela velocidade do ar de secagem, constatando que os modelos de Lewis, Overhults e exponencial de dois termos forneceram bons ajustes aos dados experimentais de secagem das sementes, apresentando  $R^2 > 0,990$  e DQM  $< 0,001$ .

Avhad e Marchetti (2016) realizando um estudo focado na modelagem matemática da cinética de secagem de sementes de abacate (*Persea Americana* M.) em diferentes temperaturas (40, 50, 60, 70 e 80 °C), mostraram que a taxa de secagem foi diretamente influenciada pelo aumento da temperatura. Dentre os modelos matemáticos utilizados os de Lewis, Henderson e Pabis e Page podem ser utilizados na descrição da cinética de secagem das amostras, uma vez que, apresentaram valores de  $R^2 > 0,980$  e DQM  $< 0,023$ .

Saavedra et al. (2017) analisando o processo de secagem convectiva de sementes de abacate (*Persea americana*) em diferentes temperaturas (45, 60 e 75 °C) e velocidades do ar (0,8; 1,2 e 1,8 m s<sup>-1</sup>) verificaram que a medida que a temperatura aumenta, o tempo de

secagem reduz e que os valores do coeficiente de difusividade efetiva das sementes variaram de 1,267 a  $3,803 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ .

Chaji e Hedayatizadeh (2017) estudando a cinética de secagem de sementes de melancia nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C e velocidades do ar de 0,5, 1 e 1,5 m s<sup>-1</sup>, concluíram que todos os modelos utilizados no ajuste aos dados experimentais da secagem, forneceram ajustes satisfatórios, uma vez que, apresentaram valores de  $R^2 > 0,990$  e DQM  $< 0,021$ , os valores de difusividade efetiva das sementes variaram entre  $3,009 \times 10^{-10}$  e  $6,805 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  e a energia de ativação entre 37,11 e 56,63 kJ mol<sup>-1</sup>.

#### **2.4 - Propriedades físicas e químicas de farinhas**

A farinha é um alimento básico em todo o mundo, composto por grãos ou sementes moídos. Os cereais são comumente usados na fabricação de farinha devido a sua elevada produtividade agrícola e às suas propriedades tecnológicas, como exemplo podemos citar o trigo, cuja farinha é usada na fabricação de produtos de panificação, devido às suas proteínas formadoras de glúten (BARAK et al., 2013).

No entanto, devido às pressões exercidas sobre os sistemas tradicionais de produção de grãos, associada ao aumento da demanda mundial por alimento, têm-se buscado, cada vez mais, por fontes alternativas de alimentos, a exemplo de sementes e/ou grãos de frutos e leguminosas, nos quais pesquisas recentes demonstram o seu potencial nutricional e tecnológico. Borges et al. (2006) investigando a composição química de farinha de sementes de abóbora obtidas em diferentes temperaturas de secagem (60 e 70 °C), constataram que o aumento da temperatura de secagem foi acompanhada por uma ligeira redução no teor de proteínas e lipídeos, mas não apresentou efeito significativo no teor de água, fibras, cinzas e carboidratos das farinhas.

Siddiq et al. (2010) estudando as propriedades físicas e químicas de farinhas de diferentes variedades de feijão, observaram valores de proteínas, lipídeos, fibras e cinzas variando de 20,93 a 23,62%, 3,14 a 3,62%, 3,38 a 4,59% e 4,60 a 5,0% (base seca), respectivamente, além disso, a densidade aparente e os valores das coordenadas de cor L\*, a\* e b\* variaram de 0,515 a 0,556 g/cm<sup>3</sup> e 54,40 a 61,0, 0,20 a 0,75 e 2,7 a 6,25, respectivamente.

Krishnan et al. (2011) analisando as propriedades físico-químicas do farelo de sementes de milho, observaram valores de proteínas, fibras e cinzas variando de 9,5 a 13,4%, 39,6 a 48,8% e 4,3 a 5,1% (base seca), verificaram também que a densidade

aparente, a solubilidade (30 °C) e os valores das coordenadas de cor L\*, a\* e b\* variaram de 0,5 a 0,6 g/cm<sup>3</sup>, 3,8 a 9,8%, 34,0 a 51,2, 5,0 a 5,8 e 7,6 a 11,1, respectivamente.

Estudando o efeito de diferentes tratamentos (autoclavagem e fermentação) nas propriedades nutricionais e tecnológicas de farinhas de grãos de soja, Silva et al. (2012) observaram valores de teor de água, proteínas, lipídeos, cinzas, carboidratos e fibras variando de 8,36 a 9,86%, 35,06 a 38,63%, 24,88 a 27,07%, 4,48 a 5,16% e 2,46 a 3,35% (base seca), respectivamente, os autores também detectaram que os valores das coordenadas de cor L\*, a\* e b\* variaram de 77,79 a 85,50, 0,93 a 5,24 e 22,80 a 27,39, , respectivamente.

Onuegbu et al. (2013) estudando as propriedades físicas e químicas de farinha de sementes de mucuna (*Mucuna flagellipes*), observaram valores de teor de água, cinzas, lipídeos, proteínas, carboidratos e densidade aparente variando de 13,8 a 14,4%, 4,5 a 5,0%, 10,1 a 10,2%, 30,4 a 31,5%, 48,8 a 50,2% (base seca) e 0,55 a 1,17 g cm<sup>-3</sup>, respectivamente.

Wani et al. (2013) analisando as propriedades físico-químicas de farinha obtidas de quatro cultivares de feijão, verificaram que o teor de água, cinzas, proteínas, lipídeos e fibras variaram de 9,9 a 10,4%, 3,0 a 3,5%, 22,3 a 26,7%, 1,6 a 2,0% e 1,4 a 2,1% (base seca), respectivamente, enquanto, que a densidade aparente, a solubilidade e os valores das coordenadas de cor L\*, a\* e b\* variaram de 0,84 a 0,94 g cm<sup>-3</sup>, 32,0 a 36,3%, 81,0 a 82,0, 1,3 a 1,8 e 7,9 a 9,6, respectivamente.

Okpala e Gibson-Umeh (2013) avaliaram as propriedades físico-químicas de sementes de duas cultivares de manga (*Mangifera indica*) verificando que o teor de água, cinzas, proteínas, lipídeos e fibras e carboidratos variaram de 5,3 a 11,5%, 8,4 a 13,3%, 5,5 a 6,3%, 11,5 a 16,7%, 2,7 a 4,5% e 71,6 a 78,4% (base seca), respectivamente, enquanto, que a densidade aparente variou de 0,37 a 0,39 g cm<sup>-3</sup>.

Villarino et al. (2015) estudando a composição nutricional de farinhas de sementes de diferentes variedades de lupino doce (*Lupinus angustifolius*), notaram que o teor de água, proteínas, fibras, lipídeos e cinzas variaram de 6,8 a 6,9%, 36,8 a 39,5%, 34,9 a 37,5%, 7,1 a 8,2% e 2,5 a 3,5% (base seca), respectivamente.

Reis et al. (2017) investigando a influência de diferentes temperaturas de secagem (60, 70 e 80 °C) nas propriedades físico-químicas da farinha de acerola, concluíram que com a elevação da temperatura, ocorreu aumento do pH, sólidos solúveis totais, luminosidade (L\*) e ângulo Hue (h), mas redução do teor de água, acidez titulável, ácido ascórbico e croma.



## 2.5 - Isotermas de sorção de água

A atividade de água ( $A_w$ ) é uma medida da água que está quimicamente e fisicamente disponível para reações químicas e ação microbiológica; é definida como a razão da pressão parcial de vapor da água contida no alimento e a pressão de vapor da água pura, conforme a Equação 2.1 (RIBEIRO e SERAVALLI, 2007).

$$A_w = \frac{P}{P_0} \quad (2.1)$$

em que:

$A_w$  - atividade de água, adimensional;

$P$  - pressão parcial de vapor da água contida no alimento, kPa, mmHg; e

$P_0$  - pressão de vapor da água pura, kPa, mmHg.

Estudos das isotermas de sorção de água têm como objetivo prever se o produto poderá sofrer alterações durante o armazenamento, uma vez que, podem absorver e ceder água para o ambiente tendendo a um estado de equilíbrio (OLIVEIRA et al., 2013).

Nesse contexto, a determinação do teor de água de equilíbrio do alimento em temperaturas e umidades relativas diferentes, é necessária para definição da condição mais apropriada de armazenamento.

O teor de água de equilíbrio diminui com o aumento da temperatura, apontando mudanças nas formas de interação da água com os outros constituintes do alimento (ANSELMO et al., 2008). Na literatura são encontrados vários trabalhos sobre o ajuste de modelos matemáticos aos dados experimentais das isotermas de sorção de água dos mais variados produtos. Lima et al. (2008) encontraram boa estimativa com o modelo de GAB ajustado às isotermas de adsorção de água da farinha da coroa de frade (10, 20, 30 e 40 °C), obtendo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre 0,9944 e 0,9970 e desvio percentual médio (P) entre 3,17 e 6,09%.

Sormoli e Langrish (2015) ajustaram vários modelos às isotermas de adsorção de água do pó do suco de laranja nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C, observando que os modelos de Peleg, GAB e Oswin apresentaram bons ajustes aos dados experimentais das isotermas, entre todos os modelos estudados o de GAB foi o que apresentou melhor ajuste as isotermas com  $R^2 > 0,99$  e  $P < 7\%$ .

Lago e Noreña (2015) ajustaram os modelos matemáticos de BET, GAB, Halsey, Henderson, Chung-Pfost e Smith as isotermas da farinha do resíduo de batata yacon (*Smallanthus sonchifolius*) nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C, observando que o modelo de Halsey foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais das isotermas com valores de  $R^2 > 0,992$  e  $P < 8,5\%$ .

Torres e Seijo (2016) estudaram o ajuste dos modelos de GAB e Chung-Pfost às isotermas de adsorção de água da farinha e do amido isolado de arroz nas temperaturas de 25, 35, 45 e 55 °C, verificando que tanto o modelo de GAB ( $R^2 > 0,993$  e  $P < 3,9\%$ ) quanto o de Chung-Pfost ( $R^2 > 0,992$  e  $P < 3,9\%$ ) se ajustaram bem aos dados experimentais das isotermas das amostras, além disso, constataram que as isotermas apresentaram a forma Tipo II, segundo a classificação de BET.

### **3 - MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 - Local de realização do trabalho**

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA), no Centro de Tecnologia de Recursos Naturais (CTRN), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, PB.

#### **3.2 - Matéria-prima**

Foram utilizadas abóboras (*Cucurbita moschata* Duchesne) da variedade jacarezinho, maduras, safra 2016, adquiridas na Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas (EMPASA) de Campina Grande, PB.

#### **3.3 - Obtenção das sementes de abóbora**

As abóboras foram transportadas, em caixas plásticas de polipropileno, para o laboratório, onde, ocorreu a sua seleção, descartando-se os frutos danificados e verdes; logo após, os frutos selecionados foram lavados em água corrente e as sujidades removidas por meio de escovação com detergente neutro; após, seguiu-se com a sanitização dos frutos com solução de hipoclorito de sódio a 50 ppm, durante 15 min. Os frutos foram abertos, com auxílio de faca de aço inoxidável, e as sementes removidas manualmente. Essas foram lavadas em água corrente para retirada da mucilagem e excesso de polpa que as envolve; posteriormente foi realizada a eliminação da água superficial das sementes deixando-as expostas, em condição ambiente, sob a bancada do laboratório por um período de 8 h. Posteriormente, as sementes foram divididas em dois lotes, um foi acondicionado em embalagens de polietileno de baixa densidade e armazenado em freezer à -22 °C, onde, permaneceram até o momento da realização das análises químicas e físico-químicas. O segundo lote de sementes foi espalhado em bandejas teladas retangulares (20 x 30 cm) de aço inoxidável em camada fina e submetido à secagem em estufa com circulação forçada de ar na temperatura de 50 °C por um período de 8 h. As sementes secas foram acondicionadas em embalagens laminadas e armazenadas em condição ambiente até a realização da germinação.

### **3.4 - Caracterização físico-química das sementes de abóbora *in natura***

As sementes de abóbora *in natura* foram caracterizadas quanto aos parâmetros químicos e físico-químicos, em triplicata, e os resultados foram expressos como a média das três determinações.

#### **3.4.1 - Teor de água**

O teor de água foi determinado por meio de secagem em estufa à 105 °C, até massa constante, de acordo com método descrito no manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

#### **3.4.2 - Proteínas**

O teor de proteínas foi determinado pelo método Kjeldahl, segundo o manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

#### **3.4.3 - Lipídeos**

Os lipídeos foram determinados pelo método de Bligh e Dyer (1959), utilizando-se, para extração, solventes orgânicos (clorofórmio e metanol).

#### **3.4.4 - Cinzas**

O teor de cinzas foi determinado pela incineração da amostra em mufla à 550 °C, até as cinzas ficarem brancas ou ligeiramente acinzentadas, de acordo com o manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

#### **3.4.5 - Carboidratos**

Os carboidratos foram calculados pela diferença entre 100 e a soma das porcentagens (base seca) de proteínas, lipídeos e cinzas.

#### **3.4.6 - Açúcares redutores**

A determinação dos açúcares redutores foi de acordo com a metodologia descrita no manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

#### **3.4.7 - Compostos fenólicos**

Os compostos fenólicos foram estabelecidos utilizando-se ácido gálico como padrão, a partir do método de Folin-Ciocalteau descrito por Waterhouse (2006).

#### **3.4.8 - Taninos**

Os taninos foram determinados utilizando-se ácido tânico como padrão, de acordo com a metodologia descrita por Goldstein e Swain (1963).

### **3.5 - Germinação das sementes de abóbora**

A germinação das sementes de abóbora foi realizada de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), utilizando-se como substrato papel germiteste. As sementes foram colocadas para germinar entre duas folhas de papel, umedecido com uma quantidade de água de 2,5 vezes a massa do papel seco, em seguida, foram embrulhados em forma de rolos, acondicionados em embalagens (sacos) de polietileno de baixa densidade e depois colocados em estufa de germinação tipo BOD à 25 °C, por um período de 48 h. No final da germinação as radículas foram removidas, manualmente, das sementes germinadas.

### **3.6 - Caracterização físico-química das sementes de abóbora germinadas**

As sementes de abóbora germinadas foram caracterizadas quanto aos seguintes parâmetros: teor de água, proteínas, lipídeos, carboidratos, açúcares redutores, cinzas, compostos fenólicos e taninos, de acordo com as metodologias descritas no item 3.4.

### 3.7 - Cinética de secagem das sementes de abóbora germinadas

As sementes de abóbora germinadas foram espalhadas em bandejas teladas retangulares (9 x 12 cm) de aço inoxidável em camada fina e submetidas à secagens em um secador de leito fixo, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C e velocidades do ar de secagem de 0,7, 1,0 e 1,3 m s<sup>-1</sup>, determinado por meio de um anemômetro digital. As secagens foram realizadas em triplicata, sendo as pesagens das amostras realizadas em balança analítica com precisão de 0,0001 g, em tempos regulares de 5, 10, 20, 30 e 60 min, até se obter peso constante. As curvas de secagem foram obtidas pela conversão dos dados referentes à perda de água ao parâmetro adimensional razão de teor de água (RX) (Equação 3.1).

$$RX = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (3.1)$$

em que:

RX - razão de teor de água, adimensional;

X - teor de água, g g<sup>-1</sup> (b.s.);

X<sub>e</sub> - teor de água de equilíbrio, g g<sup>-1</sup> (b.s.); e

X<sub>0</sub> - teor de água inicial, g g<sup>-1</sup> (b.s.).

Diferentes modelos matemáticos, frequentemente utilizados para a representação da secagem de produtos agrícolas (Tabela 3.1) foram ajustados aos dados experimentais da cinética de secagem das sementes de abóbora germinadas, usando-se o Programa Computacional Statistica<sup>®</sup> versão 7.0 através de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton (STATSOFT, 2007).

**Tabela 3.1** - Modelos matemáticos utilizados para estimar as curvas de cinética de secagem de sementes de abóbora germinadas

Designação	Modelo	
Newton	$RX = \exp(-kt)$	(3.2)
Page	$RX = \exp(-kt^n)$	(3.3)
Henderson e Pabis	$RX = a \exp(-kt)$	(3.4)
Exponencial de Dois Termos	$RX = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-kat)$	(3.5)
Thompson	$RX = \exp(-a-(a^2+4bt)^{0.5})/2b)$	(3.6)
Logarítmico	$RX = a \exp(-kt) + c$	(3.7)
Aproximação da Difusão	$RX = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-kbt)$	(3.8)
Henderson e Pabis Modificado	$RX = a \exp(-kt) + b \exp(-kt) + c \exp(-kt)$	(3.9)
Dois Termos	$RX = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	(3.10)
Midilli	$RX = a \exp(-kt^n) + bt$	(3.11)

RX - Razão de teor de água, adimensional; a, b, c, k, k<sub>0</sub>, k<sub>1</sub>, n - Constantes dos modelos; t - Tempo de secagem (min)

Utilizaram-se como critérios de ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais a magnitude do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) (Equação 3.12), desvio quadrático médio (DQM) (Equação 3.13), qui-quadrado (χ<sup>2</sup>) (Equação 3.14) e a distribuição dos resíduos (DR).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \left[ (RX_{\text{exp},i} - \overline{RX}_{\text{pred},i}) (RX_{\text{pred},i} - \overline{RX}_{\text{pred},i}) \right]^2}{\sum_{i=1}^N (RX_{\text{exp},i} - \overline{RX}_{\text{pred},i})^2 \sum_{i=1}^N (RX_{\text{pred},i} - \overline{RX}_{\text{pred},i})^2} \quad (3.12)$$

em que:

R<sup>2</sup> - coeficiente de determinação, adimensional;

RX<sub>exp</sub> - razão de teor de água experimental, adimensional;

$\overline{RX}_{\text{pred},i}$  - média da razão de teor de água experimental, adimensional;

RX<sub>pred</sub> - razão de teor de água predita pelo modelo, adimensional;

$\overline{RX}_{\text{pred},i}$  - média da razão de teor de água predita pelo modelo, adimensional; e

N - número de observações, adimensional.

$$DQM = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.13)$$

em que:

DQM - desvio quadrático médio, adimensional;

$RX_{pred}$  - razão de teor de água predita pelo modelo, adimensional;

$RX_{exp}$  - razão de teor de água experimental, adimensional; e

N - número de observações, adimensional;

$$\chi^2 = \frac{1}{N - n} \sum_{i=1}^N (RX_{exp,i} - RX_{pred,i})^2 \quad (3.14)$$

em que:

$\chi^2$  - qui-quadrado, adimensional;

$RX_{pred}$  - razão de teor de água predita pelo modelo, adimensional;

$RX_{exp}$  - razão de teor de água experimental, adimensional;

N - número de observações, adimensional; e

n - número de constantes do modelo, adimensional.

De posse dos dados de teor de água (b.s.) das sementes de abóbora germinadas em cada tempo de secagem, calcularam-se as taxas de secagem, de acordo com a Equação 3.15.

$$TX = \frac{X_{t_0} - X_{t_0+\Delta t}}{\Delta t} \quad (3.15)$$

em que:

TX - taxa de secagem,  $kg\ kg^{-1}\ min^{-1}$ ;

$X_{t_0}$  - teor de água no tempo anterior,  $kg\ kg^{-1}$  (b.s.);

$X_{t_0+\Delta t}$  - teor de água no tempo atual,  $kg\ kg^{-1}$  (b.s.); e

$\Delta t$  - diferença entre o tempo atual ( $t_i$ ) e o anterior ( $t_0$ ) de secagem, min.

Os coeficientes de difusão efetivos foram determinados ajustando-se o modelo matemático da difusão líquida com aproximação de quatro termos (Equação 3.16) aos dados experimentais da cinética de secagem das sementes de abóbora germinadas em



diferentes temperaturas, considerando-se distribuição uniforme da água inicial nas sementes e ausência de contração volumétrica e de resistência térmica durante a secagem. Esse modelo é a solução analítica para a segunda lei de Fick considerando-se a forma geométrica das sementes como aproximada de uma placa plana (Crank, 1975).

$$RX = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-(2n+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2}\right] \quad (3.16)$$

em que:

- $D_{ef}$  - coeficiente de difusão efetivo,  $m^2 s^{-1}$ ;
- $n$  - número de termos da equação ( $n = 4$ );
- $L$  - meia espessura da semente, 0,0081 m; e
- $t$  - tempo, s.

Para a determinação da meia espessura da semente foram utilizadas quatro repetições de 10 sementes, as quais tiveram sua espessura medida usando um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm.

A relação entre o coeficiente de difusão efetivo e a temperatura de secagem foi descrita por meio da equação de Arrhenius (Equação 3.17).

$$D_{ef} = D_o \exp\left(-\frac{E_a}{R(T + 273,15)}\right) \quad (3.17)$$

em que:

- $D_o$  - fator pré-exponencial,  $m^2 s^{-1}$ ;
- $E_a$  - energia de ativação,  $kJ mol^{-1}$ ;
- $R$  - constante universal dos gases,  $0,008314 kJ mol^{-1} K^{-1}$ ; e
- $T$  - temperatura,  $^{\circ}C$ .

### **3.8 - Obtenção das farinhas das sementes de abóbora germinadas**

As sementes de abóbora germinadas foram secas, nas condições de temperatura e velocidade do ar descritas no item 3.7, até teor de água de  $5 \pm 0,5\%$ ; logo após as secagens, as sementes foram trituradas em moinho de facas para a obtenção das farinhas.

### 3.9 - Propriedades físicas e físico-químicas das farinhas de sementes de abóbora germinadas

As farinhas foram caracterizadas quanto aos parâmetros: acidez total titulável (item 3.9.1) e lipídeos conforme metodologia descrita no item 3.4.3. Além dos parâmetros de cor (coordenadas L\*, a\*, b\*, H\* e C\*), densidade aparente, densidade compactada, fator de Hausner (FH), Índice de Carr (IC), solubilidade e molhabilidade descritas a seguir.

#### 3.9.1 - Acidez total titulável (ATT)

A acidez total titulável foi determinada por titulometria com solução de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> utilizando-se, como indicador fenolftaleína (BRASIL, 2005).

#### 3.9.2 - Cor

A cor foi definida por leitura direta da amostra em espectrofotômetro Mini Scan HunterLab XE Plus, no sistema de cor Cielab. Os parâmetros determinados foram: L\* que representa a luminosidade, transição do preto (0) para o branco (100); a\* que está associado à transição da cor verde (-a\*) para a cor vermelha (+a\*); e b\* que está relacionado com a transição da cor azul (-b\*) para a cor amarela (+b\*).

#### 3.9.3 - Densidade aparente

Para a determinação da densidade aparente utilizou-se uma proveta, que foi preenchida com uma massa conhecida da amostra; a densidade aparente foi calculada utilizando a relação simples entre a massa e o volume ocupado pela amostra, conforme a Equação 3.18 (MOHSENIN, 1978).

$$\rho_a = \frac{m_a}{V_a} \quad (3.18)$$

em que:

$\rho_a$  - densidade aparente, g cm<sup>-3</sup>;

$m_a$  - massa da amostra, g;

$V_a$  - volume ocupado pela amostra,  $\text{cm}^3$ .

### 3.9.4 - Densidade compactada

Para determinação da densidade compactada utilizou-se o método descrito por Tonon et al. (2013). Pesou-se uma massa da amostra até completar o volume de 10 mL na proveta; em seguida, foi compactada, batendo-se a proveta 50 vezes sobre a bancada; a densidade foi calculada pela relação entre a massa e o volume ocupado pela amostra compactada na proveta, conforme Equação 3.19.

$$\rho_c = \frac{m_a}{V_c} \quad (3.19)$$

em que:

$\rho_c$  – densidade compactada,  $\text{g cm}^{-3}$ ;

$m_a$  – massa da amostra, g;

$V_c$  – volume ocupado pela amostra compactada,  $\text{cm}^3$ .

### 3.9.5 - Fator de Hausner (FH)

O Fator de Hausner (FH), que consiste na relação entre a densidade compactada e a densidade aparente, foi calculado utilizando a Equação (3.20) (HAUSNER, 1967).

$$FH = \frac{\rho_c}{\rho_a} \quad (3.20)$$

em que:

FH - fator de Hausner, adimensional;

$\rho_c$  – densidade compactada,  $\text{g cm}^{-3}$ ; e

$\rho_a$  – densidade aparente,  $\text{g cm}^{-3}$ .

### 3.9.6 - Índice de Carr (IC)

O Índice de Carr foi calculado utilizando a Equação 3.21, conforme descrito por Savlak et al. (2016).

$$IC = \frac{\rho_c - \rho_a}{\rho_c} \cdot 100 \quad (3.21)$$

em que:

IC - Índice de Carr, %;

$\rho_c$  – densidade compactada, g cm<sup>-3</sup>; e

$\rho_a$  – densidade aparente, g cm<sup>-3</sup>.

### 3.9.7 - Solubilidade

A solubilidade foi determinada pelo método de Eastman e Moore (1984), no qual um grama da amostra foi adicionado em 100 mL de água destilada (25 °C) e homogeneizado em um agitador magnético, na velocidade máxima, durante 5 min; em seguida, filtrou-se em papel de filtro com auxílio de bomba a vácuo, sendo posteriormente submetido à secagem em estufa à 105 °C por 24 h. A massa solúvel foi calculada por diferença entre a massa da amostra utilizada e a massa retida no papel filtro e a solubilidade foi, então, calculada conforme a Equação 3.22.

$$S = \frac{m_s}{m_a} \cdot 100 \quad (3.22)$$

em que:

S – solubilidade, %;

$m_s$  – massa solúvel, g; e

$m_a$  – massa da amostra inicial, g.

### 3.9.8 - Molhabilidade

Para a determinação do tempo de molhabilidade pesou-se cerca de 1,0 g da farinha adicionando-a, sob queda, em um bécker de 250 mL contendo 200 mL de água destilada (25 °C), sem agitação, e se observou o tempo gasto até que a amostra ficasse totalmente molhada (LANNES e MEDEIROS, 2003).

### 3.9.9 - Isotermas de adsorção de água das farinhas

As isotermas de adsorção de água das farinhas foram determinadas, em triplicata, à 25 °C empregando-se a metodologia de Capriste e Rotstein (1982) com as leituras de atividade de água realizadas no equipamento Aqualab modelo 3TE da Decagon Devices. O teor de água de equilíbrio, em base seca, foi determinado pela relação entre a massa de água e a massa seca da amostra, utilizando a Equação 3.23.

$$X_e = \left( \frac{m_e - m_s}{m_s} \right) \cdot 100 \quad (3.23)$$

em que:

$X_e$  – teor de água de equilíbrio, % (b.s.);

$m_e$  – massa da amostra no equilíbrio, g; e

$m_s$  – massa seca da amostra, g.

Os modelos de Oswin (Equação 3.24), GAB (Equação 3.25) e Peleg (Equação 3.26) foram ajustados aos dados das isotermas de adsorção de água das amostras através de regressão não linear pelo método Quase-Newton, utilizando-se o Programa Statistica versão 7.0 (STATSOFT, 2007).

$$X_e = a \cdot \left( \frac{A_w}{(1 - A_w)} \right)^b \quad (3.24)$$

em que:

$X_e$  – teor de água de equilíbrio, % (b.s.);

$a, b$  – parâmetros de ajuste do modelo, adimensional; e

$A_w$  – atividade de água, adimensional.

$$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot A_w}{(1 - k \cdot A_w) \cdot ((1 - K \cdot A_w) + C \cdot A_w)} \quad (3.25)$$

em que:

$X_e$  – teor de água de equilíbrio, % (b.s.);

$X_m$  – teor de água da monocamada molecular, % (b.s.);

C, K – parâmetros que dependem da temperatura e da natureza do produto, adimensional; e

$A_w$  – atividade de água, adimensional.

$$X_e = K_1 \cdot A_w^{n_1} + K_2 \cdot A_w^{n_2} \quad (3.26)$$

em que:

$X_e$  – teor de água de equilíbrio, % (b.s.);

$A_w$  – atividade de água; adimensional; e

$K_1, K_2, n_1, n_2$  – constantes do modelo, adimensional.

Os critérios empregados para determinar o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água foram: o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio percentual médio (P), calculado conforme a Equação 3.27.

$$P = \frac{100}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \left| \frac{X_{e_{exp}} - X_{e_{teor}}}{X_{e_{exp}}} \right| \quad (3.27)$$

em que:

P – desvio percentual médio, %;

$X_{e_{exp}}$  – teor de água de equilíbrio experimental, % (b.s.);

$X_{e_{teor}}$  – teor de água de equilíbrio predito pelo modelo, % (b.s.); e

N – número de dados experimentais, adimensional.

### 3.10 - Análise estatística

Para o tratamento dos dados da caracterização físico-química das sementes de abóbora *in natura* e germinadas foi realizado um delineamento inteiramente casualizado com a comparação entre as médias feita por meio do teste de Tukey à 5% de probabilidade, utilizando-se o programa computacional Assistat versão 7.7 Beta (SILVA e AZEVEDO, 2016).

A análise estatística da caracterização das farinhas foi realizada em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial, sendo 3 temperaturas de secagem (50, 60, 70 °C) e 3 velocidades do ar (0,7; 1,0 e 1,3 m s<sup>-1</sup>), em 3 repetições para cada tratamento. A comparação entre as médias foi realizada aplicando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando-se o Programa Computacional Assistat versão 7.7 Beta (SILVA e AZEVEDO, 2016).

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 - Caracterização físico-química das sementes de abóbora *in natura* e germinadas

Na Tabela 4.1 estão apresentados os valores médios e os desvios padrão (base seca) dos parâmetros analisados na caracterização físico-química das sementes de abóbora *in natura* e germinadas. Observa-se que durante a germinação houve aumento significativo ( $p < 0,05$ ) do teor de água, proteínas, lipídeos e açúcares redutores, enquanto, ocorreu a redução significativa no teor de carboidratos, cinzas, compostos fenólicos e taninos.

**Tabela 4.1** - Valores médios dos parâmetros analisados, em base seca, nas sementes de abóbora *in natura* e germinadas

Parâmetros analisados	Sementes <i>in natura</i>	Sementes germinadas
Teor de água (% b.u.)	39,61 ± 0,13 b	57,01 ± 1,21 a
Teor de água (%)	65,60 ± 0,35 b	132,62 ± 2,27 a
Proteínas (%)	10,95 ± 2,26 b	14,63 ± 2,90 a
Lipídeos (%)	36,55 ± 0,18 b	42,76 ± 0,53 a
Cinzas (%)	4,42 ± 0,01 a	4,03 ± 0,05 b
Carboidratos (%)	48,08 ± 2,43 a	38,58 ± 2,94 b
Açúcares redutores (% de glicose)	3,31 ± 0,62 b	10,69 ± 0,22 a
Compostos fenólicos totais (mg de ácido gálico 100 g <sup>-1</sup> )	326,06 ± 4,21 a	296,46 ± 7,73 b
Taninos (mg de ácido tânico 100 g <sup>-1</sup> )	528,67 ± 6,67 a	479,87 ± 12,5 b

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas não diferem pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

O aumento do teor de água é resultado da sua absorção durante a germinação. Comportamento semelhante foi observado por Komatsuzaki et al. (2007), que estudando a germinação de duas variedades de sementes de arroz (*Oryza sativa* L. ssp. *Japonica*) verificaram que o teor de água das sementes (b.u.) da variedade *Nipponbare* aumentou, de 12 para 35,36%, após 24 horas de germinação, enquanto, o teor de água da variedade *Haiminori* aumentou de 12 para cerca de 43,6%, após o mesmo tempo de germinação; e por Chinma et al. (2009) estudando o efeito da germinação nas propriedades químicas de sementes de *Cyperus esculentus* (variedades amarelas e castanhas).



O aumento da concentração de proteínas pode estar associado ao fato de que durante a germinação ocorre o aumento da atividade metabólica das sementes, nas quais, várias enzimas são produzidas, como consequência, ocorre o aumento do conteúdo de proteínas (MOONGNGARM e SAETUNG, 2010).

Comportamento semelhante foi observado por Tian et al. (2010) que investigando o efeito da germinação nas propriedades físico-químicas de sementes de aveia (cultivar *Avena nuda* L.) observaram aumento no teor de proteínas das sementes de 18,98 para 21,95% (base seca) após germinação; Donkor et al. (2012) pesquisando sobre o efeito da germinação na composição nutricional de sementes de trigo, aveia, cevada e centeio, também constataram que ocorreu aumento no teor de proteínas com a germinação em todos os tipos de sementes estudadas; Mondor et al. (2014) demonstraram haver um discreto aumento do teor de proteínas de ervilhas amarela com a germinação, cujos valores foram de 23,4 e 24,2% (base seca) para as sementes *in natura* e germinadas, respectivamente; e por Hejazi et al. (2016) que avaliando o efeito da germinação na digestibilidade das proteínas de sementes de amaranto (*Amaranthus caudatus* L.), identificaram que as sementes germinadas apresentaram maior teor proteico (14,86% base seca) quando comparadas às sementes *in natura*, que apresentou teor de proteínas de 13,76% (base seca).

O aumento no teor de lipídeos pode ser atribuído à perda de massa das sementes, em virtude da degradação de compostos de alto peso molecular, tais como amido e carboidratos não amiláceos, provocando aumento da proporção de lipídeos na matéria seca das sementes. Donkor et al. (2012) encontraram comportamento similar durante a germinação de sementes de cevada, aveia e centeio; Moongngarm e Saetung (2010) observaram que durante a germinação de sementes de arroz não ocorreu redução significativa no teor de lipídeos. Enquanto, Oliveira et al. (2016) estudando o processo de germinação de sementes de crambe (*Crambe abyssinica*), relataram redução dos lipídeos durante a germinação. Os pesquisadores sugerem que essa redução é devido a hidrólise enzimática dos lipídeos para a produção de energia, que será utilizada pelo embrião para o seu desenvolvimento. Entretanto, é necessário observar que as alterações na concentração de lipídeos, durante a germinação, não segue uma regra geral e varia entre os diferentes tipos de sementes (DONKOR et al., 2012).

Os resultados mostraram que a germinação foi acompanhada pela redução do teor de cinzas, possivelmente devido ao consumo de minerais para o desenvolvimento do embrião e formação da radícula. Donkor et al. (2012) analisando o efeito da germinação na composição nutricional de diferentes tipos de sementes, observaram que ocorreu redução

no teor de cinzas das sementes de aveia, sorgo e arroz integral, mas constataram aumento no teor de cinzas nas sementes de trigo, cevada, centeio e trigo mourisco. Mondor et al. (2014) estudando a germinação de ervilhas verificaram que houve leve redução do teor de cinzas nas sementes germinadas (2,6% b.s.) quando comparada com as sementes *in natura* (2,9% b.s.). No entanto, Mohan et al. (2010) estudando a influência da germinação na composição físico-química de dois tipos de sementes de arroz, *Indica* (variedade Jaya) e *Japonica* (variedade Yamadanishiki), notaram que ocorreu aumento do conteúdo de cinzas nos dois tipos de arroz. O aumento do teor de cinzas durante a germinação, observado por alguns pesquisadores, pode estar associado à absorção de minerais, pelas sementes, do substrato ou da água utilizados no processo de germinação.

O aumento do teor de açúcares redutores foi acompanhado da redução no conteúdo de carboidratos totais, possivelmente devido à degradação do amido, consequência do aumento da atividade de enzimas hidrolíticas (amilases) durante a germinação (KALITA et al., 2017), de modo que as moléculas de amido são hidrolisadas em formas solúveis (açúcares simples) podendo ser transportadas para o embrião atendendo a necessidade da radícula em crescimento (MARTI et al., 2017).

Comportamento similar foi observado por Traoré et al. (2004) que analisando o efeito da germinação nas propriedades físico-químicas de sementes de sorgo e de milho, detectaram que o conteúdo de glicose e frutose sofreram considerável aumento, nos dois tipos de sementes, após a germinação. Moongngarm e Saetung (2010) que ao analisarem o efeito da germinação na composição química de sementes de arroz (*Oryza sativa* L.), verificaram aumento no teor de açúcares redutores nas sementes germinadas apresentando valores de 0,19, 0,81 e 1,21% (base seca) para o arroz *in natura*, bruto germinado e integral germinado, respectivamente. No entanto, Oliveira et al. (2016) estudando o processo de germinação de sementes de crambe, relataram que a concentração dos açúcares totais tendeu a diminuir nos três primeiros dias de germinação, com posterior estabilização entre 3 e 6 dias.

O teor de compostos fenólicos totais (CFT) foi significativamente reduzido com a germinação, fenômeno que pode ser atribuído à ativação de enzimas (polifenoloxidasas), responsáveis pela degradação dos compostos fenólicos, durante a germinação (PAUCAR-MENACHO et al., 2017). Assim como observado para outras substâncias, a intensidade da variação causada pela germinação no teor de CFT das sementes varia entre as diferentes espécies. Donkor et al. (2012) relataram que a germinação provocou aumento significativo no teor de CFT de sementes de cevada, no entanto, em sementes de trigo promoveu a sua

redução, enquanto, não induziu alteração significativa nas sementes de aveia e arroz; Entretanto, Moongngarm e Saetung (2010) verificaram aumento no teor de CFT de sementes de arroz (*Oryza sativa* L., cultivar RD6), por sua vez, Chen et al. (2016) observaram que os níveis de CFT no arroz germinado cresceu à medida que o tempo de germinação aumentou.

A concentração de taninos nas sementes apresentou redução significativa com a germinação, possivelmente devido a sua hidrólise ou a transferência dessas substâncias da semente para a radícula, tendo como propósito a proteção dessa estrutura. Resultado semelhante ao encontrado nessa pesquisa foi observado por Gamel et al. (2005) ao estudar a influência da germinação nas propriedades físico-químicas de sementes de amaranto, constataram redução na concentração de taninos que após a germinação diminuiu para quantidades não detectáveis. Entretanto, em trabalho mais recente sobre a germinação de sementes de amaranto, Hejazi et al. (2016) observaram uma tendência de aumento na concentração de taninos nas sementes germinadas.

#### **4.2 - Cinética de secagem das sementes de abóbora germinadas**

As sementes de abóbora germinadas apresentaram um conteúdo de água inicial de cerca de 132,5% (b.s.) e um final que varia de 1,10 a 5,93% (b.s.), nas temperaturas (50, 60 e 70 °C) e velocidades do ar (0,7; 1,0 e 1,3 m s<sup>-1</sup>) estudadas. O tempo de secagem para a temperatura de 70 °C, nas três velocidades estudadas, foi igual a 470 min. Para a temperatura de 60 °C, nas três velocidades, o tempo de secagem foi de 650 min, enquanto para a temperatura de 50 °C o tempo de secagem foi igual a 720 min. Observou-se que, com o aumento da temperatura, ocorreu a redução do tempo de secagem e a velocidade do ar no intervalo estudado, não apresentou influência sobre esta variável.

A redução do tempo de secagem com o aumento da temperatura ocorreu em razão do aumento da taxa de transferência de calor e de massa, resultante do aumento da temperatura do ar de secagem (DOTTO et al., 2011; MOCELIN et al., 2014; CORADI, 2016). Comportamento também observado por Irigoyen e Giner (2014) no estudo da secagem de sementes de soja; Johann et al. (2016) na secagem de sementes de uvas; e Saavedra et al. (2017) estudando o processo de secagem de sementes de abacate. Com relação à falta de influência da velocidade do ar sobre o tempo final de secagem, esse comportamento pode ser devido ao pequeno intervalo de velocidade utilizado (0,3 m s<sup>-1</sup>), que somado a falta de uniformidade da distribuição do ar, provocada por restrições

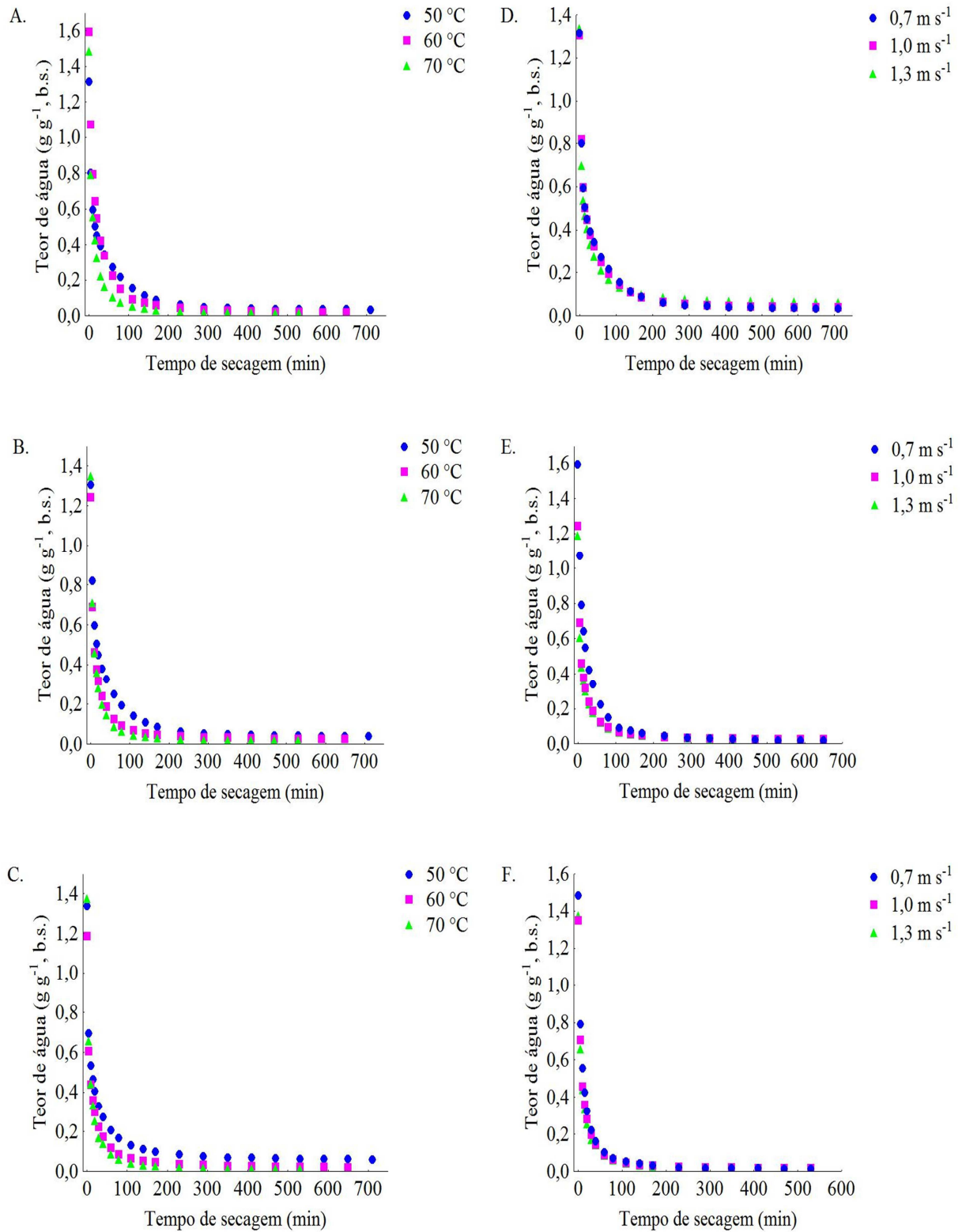
operacionais impostas pelo tipo de equipamento utilizado na realização da secagem (secador), resulta na aproximação de seus valores nos diferentes tratamentos (FELLOWS, 2006). Tohidia et al. (2017) reforçaram que para a velocidade do ar apresentar influência sobre a taxa de secagem de um material e, portanto, sobre o tempo de secagem é necessário que sua intensidade seja suficiente para reduzir a resistência da camada limite, região junto à superfície do material que está sendo seco, para a transferência de massa.

Na Figura 4.1 estão apresentadas as curvas de secagem, relação entre o teor de água (b.s.) e o tempo de secagem, em diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem. A Figura 4.1 (A, B, C) mostra o efeito da temperatura na secagem de sementes de abóbora germinadas.

Na Figura 4.1A, pode-se verificar que, na velocidade do ar de  $0,7 \text{ m s}^{-1}$ , o aumento da temperatura de 50 para 70 °C causou diminuição do tempo necessário para as sementes atingir o teor de água de equilíbrio, para as demais velocidades (Figuras 4.1B e C) a mesma tendência foi observada. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que conforme a temperatura aumenta a transferência de calor por convecção é facilitada, portanto, a taxa de evaporação de água é favorecida. Tendência semelhante também foi constatada na secagem de sementes de soja (NIAMNUY et al., 2012), sementes de feijão (SILVA et al., 2014), sementes de canola (HEMIS et al., 2015) e sementes de melancia, (CHAJI e HEDAYATIZADEH, 2017).

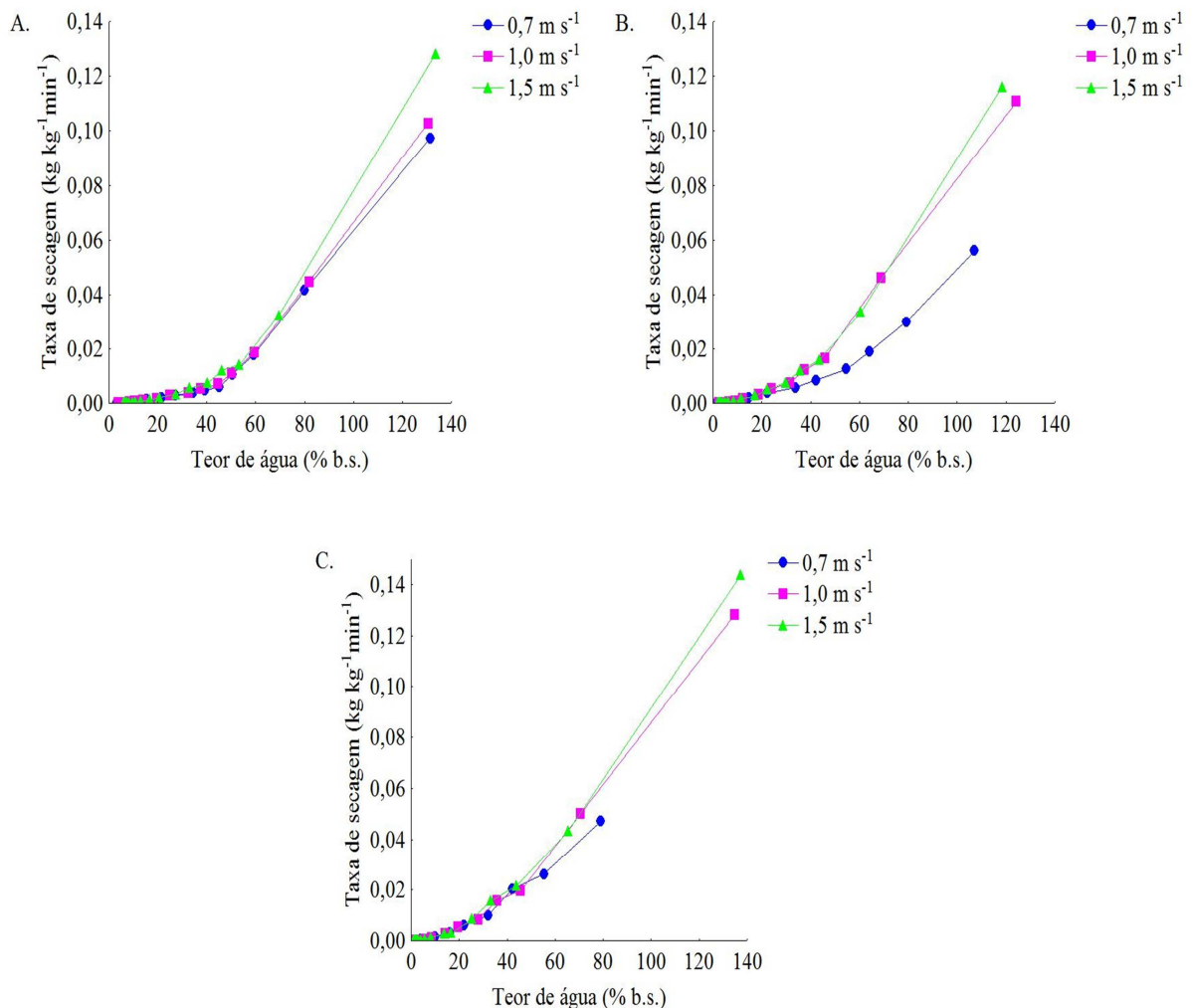
A Figura 4.1 (D, E, F) mostra o efeito da velocidade do ar sobre as curvas de secagem de sementes de abóbora germinadas. Percebe-se que houve influência da velocidade do ar sobre o comportamento das curvas de secagem, embora, de forma mais notável nos tempos iniciais e intermediários, no entanto, no final do processo essa influência foi diminuindo ao ponto de não mais existir. Ressalva-se que na temperatura de 70 °C (Figura 4.1F) o efeito da velocidade do ar foi praticamente desprezível.

Uma vez que as sementes de abóbora germinadas contêm carboidratos lipídicos e proteínas, o uso de altas velocidades do ar, juntamente com altas temperaturas ( $> 60 \text{ °C}$ ), pode causar modificações estruturais nesses compostos, dificultando a remoção de água das sementes (DONADON et al., 2013; CORADI et al., 2016). Comportamento semelhante foi encontrado por Krokida et al. (2003) analisando a secagem de diferente produtos, incluído sementes de ervilha e milho; Tarigan et al. (2007) estudando a secagem de nozes de avelã; e Mocelin et al. (2014) na secagem de sementes de mamão.



**Figura 4.1** - Curvas de secagem das sementes de abóbora germinadas nas velocidades do ar de secagem de 0,7 (A), 1,0 (B) e 1,3 m s<sup>-1</sup> (C) e temperaturas de 50 (D), 60 (E) e 70 °C (F)

As taxas de secagem das sementes de abóbora germinadas em diferentes temperaturas e velocidades do ar são mostradas na Figura 4.2, na qual, não foi observado período de taxa constante de secagem, sugerindo que as secagens ocorrem em períodos de queda de velocidade. Esse comportamento está de acordo com o observado na secagem de sementes de crambe (*Crambe abissynica*) (COSTA et al., 2011), sementes de abacate (AVHAD e MARCHETTI, 2016), sementes de milho (NOURMOHAMADI-MOGHADAMI et al., 2017) e sementes de lótus (*Nelumbo nucifera*) (ZHAO et al., 2017). A secagem de produtos alimentícios, geralmente, não ocorre em período de taxa de secagem constante (FELLOWS, 2006; OETTERER et al., 2006). Esse período só é visualizado na secagem de sementes nos casos em que essas tenham sido colhidas imaturas ou tenham absorvido água devido à ação de agentes externos (ALMEIDA et al., 2006).



**Figura 4.2** - Taxas de secagem das sementes de abóbora germinadas nas temperaturas de 50 (A), 60 (B) e 70 °C (C) em diferentes velocidades do ar

Embora as sementes de abóbora tenham absorvido água durante a germinação, não se observou nenhum um período de taxa constante de secagem, possivelmente devido o excesso de água absorvido pelas sementes ter sido rapidamente removido nos instantes iniciais de secagem (Figura 4.1), indicando que a resistência interna ao movimento de água é maior do que a resistência à remoção a partir da superfície da amostra, sugerindo que o processo foi governado pelo mecanismo interno de difusão de água.

As taxas de secagem aumentaram com incrementos da temperatura e da velocidade do ar de secagem, atingindo no início do processo valores variando de 0,097 e 0,144 kg kg<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup> para as condições do ar de secagem de 50 °C-0,7 m s<sup>-1</sup> e 70 °C-1,3 m s<sup>-1</sup>, respectivamente. Esse fenômeno pode ser atribuído ao fato de que com a elevação da temperatura ocorre o aumento da transferência de calor do ar de secagem para as sementes (GIRI e PRASAD, 2007), tendo como consequência a elevação da energia cinética e da pressão de vapor das moléculas de água, fazendo com que ocorra uma maior difusão de água do interior para a superfície das sementes.

As taxas de secagem foram reduzidas com o decorrer do tempo, possivelmente devido ao aumento da resistência interna a transferência de calor e massa (ZIELINSKA e MICHALSKA, 2016), fenômeno também relatado por Tarigan et al. (2007) em nozes de avelã, Hasan et al. (2014) em semente de arroz e Chielle et al. (2016) em sementes de mamão.

Os valores dos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>), desvios quadráticos médios (DQM) e qui-quadrado ( $\chi^2$ ) bem como a distribuição dos resíduos (DR) dos modelos matemáticos ajustados aos dados da cinética de secagem das sementes germinadas de abóbora são fornecidos na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Parâmetros estatísticos dos modelos ajustados aos dados experimentais da secagem das sementes de abóbora germinadas

Modelo	Veloc.(m s <sup>-1</sup> )	Temperatura (°C)											
		50				60				70			
		R <sup>2</sup>	DQM	χ <sup>2</sup>	DR	R <sup>2</sup>	DQM	χ <sup>2</sup>	DR	R <sup>2</sup>	DQM	χ <sup>2</sup>	DR
3.2	0,7	0,9012	7,8x10 <sup>-02</sup>	6,4x10 <sup>-03</sup>	T	0,9678	4,7x10 <sup>-02</sup>	2,4x10 <sup>-03</sup>	T	0,9692	4,0x10 <sup>-02</sup>	2,1x10 <sup>-03</sup>	T
	1,0	0,9219	7,0x10 <sup>-02</sup>	5,2x10 <sup>-03</sup>	T	0,9580	4,9x10 <sup>-02</sup>	2,6x10 <sup>-03</sup>	T	0,9721	3,8x10 <sup>-02</sup>	1,9x10 <sup>-03</sup>	T
	1,3	0,9173	6,8x10 <sup>-02</sup>	4,8x10 <sup>-03</sup>	T	0,9414	5,6x10 <sup>-02</sup>	3,5x10 <sup>-03</sup>	T	0,9636	4,3x10 <sup>-02</sup>	2,4x10 <sup>-03</sup>	T
3.3	0,7	0,9970	1,4x10 <sup>-02</sup>	2,0x10 <sup>-04</sup>	A	0,9989	8,7x10 <sup>-03</sup>	1,0x10 <sup>-04</sup>	A	0,9996	5,1x10 <sup>-03</sup>	2,0x10 <sup>-05</sup>	A
	1,0	0,9978	1,2x10 <sup>-02</sup>	1,0x10 <sup>-04</sup>	A	0,9981	1,0x10 <sup>-02</sup>	1,0x10 <sup>-04</sup>	A	0,9990	7,9x10 <sup>-03</sup>	1,0x10 <sup>-04</sup>	A
	1,3	0,9998	3,7x10 <sup>-03</sup>	1,0x10 <sup>-05</sup>	A	0,9984	9,4x10 <sup>-03</sup>	1,0x10 <sup>-04</sup>	A	0,9994	6,0x10 <sup>-03</sup>	4,0x10 <sup>-05</sup>	A
3.4	0,7	0,9210	7,0x10 <sup>-02</sup>	5,4x10 <sup>-03</sup>	T	0,9744	4,3x10 <sup>-02</sup>	2,0x10 <sup>-03</sup>	T	0,9725	4,2x10 <sup>-02</sup>	2,0x10 <sup>-03</sup>	T
	1,0	0,9367	6,3x10 <sup>-02</sup>	4,4x10 <sup>-03</sup>	T	0,9623	4,7x10 <sup>-02</sup>	2,5x10 <sup>-03</sup>	T	0,9745	4,1x10 <sup>-02</sup>	1,8x10 <sup>-03</sup>	A
	1,3	0,9289	6,3x10 <sup>-02</sup>	4,3x10 <sup>-03</sup>	T	0,9468	5,5x10 <sup>-02</sup>	3,3x10 <sup>-03</sup>	T	0,9664	4,5x10 <sup>-02</sup>	2,3x10 <sup>-03</sup>	T
3.5	0,7	0,9353	6,3x10 <sup>-02</sup>	4,4x10 <sup>-03</sup>	T	0,9860	3,2x10 <sup>-02</sup>	1,1x10 <sup>-03</sup>	A	0,9855	3,1x10 <sup>-02</sup>	1,1x10 <sup>-03</sup>	A
	1,0	0,9514	5,5x10 <sup>-02</sup>	3,4x10 <sup>-03</sup>	T	0,9767	3,7x10 <sup>-02</sup>	1,5x10 <sup>-03</sup>	T	0,9868	2,9x10 <sup>-02</sup>	1,0x10 <sup>-03</sup>	A
	1,3	0,9464	5,5x10 <sup>-02</sup>	3,3x10 <sup>-03</sup>	T	0,9634	4,5x10 <sup>-02</sup>	2,3x10 <sup>-03</sup>	T	0,9803	3,5x10 <sup>-02</sup>	1,4x10 <sup>-03</sup>	A
3.6	0,7	0,9963	1,5x10 <sup>-02</sup>	2,0x10 <sup>-04</sup>	A	0,9994	6,4x10 <sup>-03</sup>	5,0x10 <sup>-05</sup>	A	0,9998	2,9x10 <sup>-03</sup>	1,0x10 <sup>-05</sup>	A
	1,0	0,9978	1,2x10 <sup>-02</sup>	1,0x10 <sup>-04</sup>	A	0,9987	8,8x10 <sup>-03</sup>	1,0x10 <sup>-04</sup>	A	0,9995	5,4x10 <sup>-03</sup>	3,0x10 <sup>-05</sup>	A
	1,3	0,9982	1,0x10 <sup>-02</sup>	1,0x10 <sup>-04</sup>	A	0,9981	1,0x10 <sup>-02</sup>	1,0x10 <sup>-04</sup>	A	0,9995	5,1x10 <sup>-03</sup>	2,0x10 <sup>-05</sup>	A
3.7	0,7	0,9360	6,3x10 <sup>-02</sup>	5,0x10 <sup>-03</sup>	T	0,9788	3,9x10 <sup>-02</sup>	1,8x10 <sup>-03</sup>	T	0,9787	3,7x10 <sup>-02</sup>	1,7x10 <sup>-03</sup>	T
	1,0	0,9490	5,7x10 <sup>-02</sup>	4,0x10 <sup>-03</sup>	T	0,9710	4,1x10 <sup>-02</sup>	2,0x10 <sup>-03</sup>	T	0,9804	3,6x10 <sup>-02</sup>	1,5x10 <sup>-03</sup>	A
	1,3	0,9439	5,6x10 <sup>-02</sup>	4,0x10 <sup>-03</sup>	T	0,9616	4,6x10 <sup>-02</sup>	2,5x10 <sup>-03</sup>	T	0,9749	3,9x10 <sup>-02</sup>	1,9x10 <sup>-03</sup>	T
3.8	0,7	0,9999	2,3x10 <sup>-03</sup>	1,0x10 <sup>-05</sup>	A	0,9998	3,3x10 <sup>-03</sup>	1,0x10 <sup>-05</sup>	A	0,9994	5,8x10 <sup>-03</sup>	5,0x10 <sup>-05</sup>	A
	1,0	0,9999	2,5x10 <sup>-03</sup>	1,0x10 <sup>-05</sup>	A	0,9995	5,6x10 <sup>-03</sup>	4,0x10 <sup>-05</sup>	A	0,9997	4,3x10 <sup>-03</sup>	3,0x10 <sup>-05</sup>	A
	1,3	0,9988	8,3x10 <sup>-03</sup>	1,0x10 <sup>-04</sup>	A	0,9986	8,7x10 <sup>-03</sup>	1,0x10 <sup>-04</sup>	A	0,9989	7,3x10 <sup>-03</sup>	1,0x10 <sup>-04</sup>	A
3.9	0,7	0,9211	7,0x10 <sup>-02</sup>	6,0x10 <sup>-03</sup>	T	0,9745	4,3x10 <sup>-02</sup>	2,3x10 <sup>-03</sup>	T	0,9725	4,2x10 <sup>-02</sup>	2,3x10 <sup>-03</sup>	T
	1,0	0,9367	6,3x10 <sup>-02</sup>	4,9x10 <sup>-03</sup>	T	0,9624	4,7x10 <sup>-02</sup>	2,8x10 <sup>-03</sup>	T	0,9746	4,1x10 <sup>-02</sup>	2,1x10 <sup>-03</sup>	T
	1,3	0,9290	6,3x10 <sup>-02</sup>	4,9x10 <sup>-03</sup>	T	0,9469	5,5x10 <sup>-02</sup>	3,7x10 <sup>-03</sup>	T	0,9664	4,5x10 <sup>-02</sup>	2,7x10 <sup>-03</sup>	T
3.10	0,7	0,9999	2,3x10 <sup>-03</sup>	1,0x10 <sup>-05</sup>	A	0,9998	3,5x10 <sup>-03</sup>	1,0x10 <sup>-05</sup>	A	0,9994	6,4x10 <sup>-03</sup>	5,0x10 <sup>-05</sup>	A
	1,0	0,9999	2,5x10 <sup>-03</sup>	1,0x10 <sup>-05</sup>	A	0,9994	5,7x10 <sup>-03</sup>	4,0x10 <sup>-05</sup>	A	0,9996	4,8x10 <sup>-03</sup>	3,0x10 <sup>-05</sup>	A
	1,3	0,9988	8,3x10 <sup>-03</sup>	1,0x10 <sup>-04</sup>	A	0,9986	8,9x10 <sup>-03</sup>	1,0x10 <sup>-04</sup>	A	0,9989	8,2x10 <sup>-03</sup>	1,0x10 <sup>-04</sup>	A
3.11	0,7	0,9971	1,3x10 <sup>-02</sup>	2,0x10 <sup>-04</sup>	A	0,9990	8,5x10 <sup>-03</sup>	1,0x10 <sup>-04</sup>	A	0,9996	4,9x10 <sup>-03</sup>	3,0x10 <sup>-05</sup>	A
	1,0	0,9979	1,2x10 <sup>-02</sup>	2,0x10 <sup>-04</sup>	A	0,9982	1,0x10 <sup>-02</sup>	1,0x10 <sup>-04</sup>	A	0,9990	7,8x10 <sup>-03</sup>	1,0x10 <sup>-04</sup>	A
	1,3	0,9998	3,6x10 <sup>-03</sup>	1,0x10 <sup>-05</sup>	A	0,9985	9,2x10 <sup>-03</sup>	1,0x10 <sup>-04</sup>	A	0,9994	5,9x10 <sup>-03</sup>	4,0x10 <sup>-05</sup>	A

T – Distribuição tendenciosa; A – Distribuição aleatória



Os coeficientes dos modelos mais bem ajustados, classificados de primeiro a quinto, aos dados da cinética de secagem das sementes germinadas de abóbora são fornecidos na Tabela 4.3. Os modelos de Aproximação da Difusão (3.8), Dois Termos (3.10), Midilli (3.11), Page (3.3) e Thompson (3.6) detiveram os maiores valores de coeficiente de determinação ( $R^2 > 0,996$ ) e os menores de DQM e  $\chi^2$  que ficaram compreendidos entre  $2,3 \times 10^{-3}$  a  $1,5 \times 10^{-2}$  e  $1,0 \times 10^{-5}$  a  $2,0 \times 10^{-4}$ , respectivamente, demonstrando maior proximidade entre os dados experimentais e teóricos de razão de teor de água. Em relação à DR, todos os modelos anteriormente citados apresentaram uma distribuição aleatória sendo, portanto, adequados para representar a secagem de sementes de abóbora germinadas, nas condições do ar de secagem investigadas.

**Tabela 4.3** - Parâmetros estatísticos e coeficientes dos modelos mais bem ajustados aos dados experimentais da secagem das sementes de abóbora germinadas

Modelo	Temp. (°C)	Veloc. (m s <sup>-1</sup> )	Coefficientes do modelo	R <sup>2</sup>	DQM	$\chi^2$	DR
3.8	50	0,7	a: 0,5863; k: 0,2028; b: 0,0656	0,9999	$2,3 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-5}$	A
		1,0	a: 0,5874; k: 0,1873; b: 0,0783	0,9999	$2,5 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-5}$	A
		1,3	a: 0,6102; k: 0,2778; b: 0,0681	0,9988	$8,3 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-4}$	A
		0,7	a: 0,5134; k: 0,1549; b: 0,1383	0,9998	$3,3 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-5}$	A
	60	1,0	a: 0,6531; k: 0,2018; b: 0,1123	0,9995	$5,6 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^{-5}$	A
		1,3	a: 0,6868; k: 0,2227; b: 0,0846	0,9986	$8,7 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-4}$	A
		0,7	a: 0,5879; k: 0,2414; b: 0,1408	0,9994	$5,8 \times 10^{-3}$	$5,0 \times 10^{-5}$	A
		70	1,0	a: 0,6405; k: 0,2192; b: 0,1461	0,9997	$4,3 \times 10^{-3}$	$3,0 \times 10^{-5}$
	1,3		a: 0,6554; k: 0,2636; b: 0,1217	0,9989	$7,3 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-4}$	A
	0,7		a: 0,5866; k <sub>0</sub> :0,2029; b: 0,4137; k <sub>1</sub> : 0,0133	0,9999	$2,3 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-5}$	A
	50		1,0	a: 0,5871; k <sub>0</sub> :0,1872; b: 0,4126; k <sub>1</sub> : 0,0146	0,9999	$2,5 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-5}$
		1,3	a: 0,3896; k <sub>0</sub> :0,0189; b: 0,6093; k <sub>1</sub> : 0,2773	0,9988	$8,3 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-4}$	A
0,7		a: 0,5136; k <sub>0</sub> :0,1550; b: 0,4866; k <sub>1</sub> : 0,0214	0,9998	$3,5 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-5}$	A	
60		1,0	a: 0,6529; k <sub>0</sub> :0,2017; b: 0,3468; k <sub>1</sub> : 0,0226	0,9994	$5,7 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^{-5}$	A
	1,3	a: 0,3128; k <sub>0</sub> :0,0188; b: 0,6856; k <sub>1</sub> : 0,2221	0,9986	$8,9 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-4}$	A	
	0,7	a: 0,5873; k <sub>0</sub> :0,2410; b: 0,4118; k <sub>1</sub> : 0,0339	0,9994	$6,4 \times 10^{-3}$	$5,0 \times 10^{-5}$	A	
	70	1,0	a: 0,3594; k <sub>0</sub> :0,0320; b: 0,6402; k <sub>1</sub> : 0,2190	0,9996	$4,8 \times 10^{-3}$	$3,0 \times 10^{-5}$	A
1,3		a: 0,3442; k <sub>0</sub> :0,0320; b: 0,6546; k <sub>1</sub> : 0,2631	0,9989	$8,2 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-4}$	A	
0,7		a: 1,0015; b: 0,0000; k: 0,2662; n: 0,4655	0,9971	$1,3 \times 10^{-2}$	$2,0 \times 10^{-4}$	A	
50		1,0	a: 1,0026; b: 0,0000; k:0,2453; n: 0,4966	0,9979	$1,2 \times 10^{-2}$	$2,0 \times 10^{-4}$	A
	1,3	a: 1,0000; b: 0,0000; k: 0,3420; n: 0,4494	0,9998	$3,6 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-5}$	A	
	0,7	a: 1,0040; b: 0,0000; k: 0,1574; n: 0,6325	0,9990	$8,5 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-4}$	A	
	60	1,0	a: 1,0030; b: 0,0000; k: 0,2742; n: 0,5471	0,9982	$1,0 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-4}$	A
1,3		a: 1,0024; b: 0,0000; k: 0,3446; n: 0,4785	0,9985	$9,2 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-4}$	A	
0,7		a: 1,0012; b: 0,0000; k: 0,2612; n: 0,5926	0,9996	$4,9 \times 10^{-3}$	$3,0 \times 10^{-5}$	A	
70		1,0	a: 1,0019; b: 0,0000; k: 0,2644; n: 0,6007	0,9990	$7,8 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-4}$	A
	1,3	a: 1,0009; b: 0,0000; k: 0,3334; n: 0,5408	0,9994	$5,9 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^{-5}$	A	

Continuação da Tabela 4.3.

		0,7	k: 0,2610; n: 0,4720	0,9970	$1,4 \times 10^{-02}$	$2,0 \times 10^{-04}$	A
	50	1,0	k: 0,2424; n: 0,5001	0,9978	$1,2 \times 10^{-02}$	$1,0 \times 10^{-04}$	A
		1,3	k: 0,3411; n: 0,4506	0,9998	$3,7 \times 10^{-03}$	$1,0 \times 10^{-05}$	A
		0,7	k: 0,1560; n: 0,6340	0,9989	$8,7 \times 10^{-03}$	$1,0 \times 10^{-04}$	A
<b>3.3</b>	60	1,0	k: 0,2739; n: 0,5464	0,9981	$1,0 \times 10^{-02}$	$1,0 \times 10^{-04}$	A
		1,3	k: 0,2620; n: 0,4766	0,9984	$9,4 \times 10^{-03}$	$1,0 \times 10^{-04}$	A
		0,7	k: 0,2620; n: 0,5910	0,9996	$5,1 \times 10^{-03}$	$2,0 \times 10^{-05}$	A
	70	1,0	k: 0,2644; n: 0,6000	0,9990	$7,9 \times 10^{-03}$	$1,0 \times 10^{-04}$	A
		1,3	k: 0,3344; n: 0,5391	0,9994	$6,0 \times 10^{-03}$	$4,0 \times 10^{-05}$	A
		0,7	a: 0,0140; b: 0,3834	0,9963	$1,5 \times 10^{-02}$	$2,0 \times 10^{-04}$	A
	50	1,0	a: -0,0710; b: 0,3920	0,9978	$1,2 \times 10^{-02}$	$1,0 \times 10^{-04}$	A
		1,3	a: 0,0148; b: 0,4410	0,9982	$1,0 \times 10^{-02}$	$1,0 \times 10^{-04}$	A
		0,7	a: -1,7462; b: 0,4637	0,9994	$6,4 \times 10^{-03}$	$5,0 \times 10^{-05}$	A
<b>3.6</b>	60	1,0	a: -0,6574; b: 0,4991	0,9987	$8,8 \times 10^{-03}$	$1,0 \times 10^{-04}$	A
		1,3	a: 0,0018; b: 0,4707	0,9981	$1,0 \times 10^{-02}$	$1,0 \times 10^{-04}$	A
		0,7	a: -1,0891; b: 0,5513	0,9998	$2,9 \times 10^{-03}$	$1,0 \times 10^{-05}$	A
	70	1,0	a: -1,2337; b: 0,5722	0,9995	$5,4 \times 10^{-03}$	$3,0 \times 10^{-05}$	A
		1,3	a: 0,0035; b: 7,0256	0,9995	$5,1 \times 10^{-03}$	$2,0 \times 10^{-05}$	A

Bons ajustes obtidos com os modelos de Aproximação da Difusão, Dois Termos, Midilli, Page e Thompson são frequentemente relatados na bibliografia disponível, na qual os melhores ajustes se alternam entre eles. Diógenes et al. (2013) estudando a secagem de grãos de abóbora, constataram que o modelo de Aproximação da Difusão foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, pois apresentou os maiores valores de coeficientes de determinação ( $R^2 > 0,999$ ) e os menores de desvios quadráticos médios ( $DQM < 1,0 \times 10^{-2}$ ).

Santos et al. (2013) observaram que o modelo de Dois Termos apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais da secagem de grão residuais de urucum, apresentando os maiores valores de coeficientes de determinação ( $R^2 > 0,990$ ) e os menores de desvios quadráticos médios ( $DQM < 3,0 \times 10^{-2}$ ).

Mendonça et al. (2015) perceberam que o modelo de Midilli representa com boa precisão os dados experimentais da secagem de sementes de andiroba em todas as condições avaliadas, apresentando elevados valores de coeficientes de determinação ( $R^2 > 0,997$ ), baixos de desvio-padrão da estimativa ( $SE < 1,0 \times 10^{-3}$ ) e distribuição aleatória de resíduos.

Nourmohamadi et al. (2017) secando sementes de milho verificaram que, entre os modelos utilizados, o de Page foi o mais adequado para representar os dados experimentais da cinética de secagem, apresentando elevados valores de coeficientes de determinação ( $R^2$

> 0,990) e baixos de desvios quadráticos médios ( $DQM < 2,5 \times 10^{-2}$ ) e de qui-quadrado ( $\chi^2 < 6 \times 10^{-4}$ ).

Estudando a modelagem matemática da cinética de secagem de sementes de girassol, Smaniotto et al. (2017) constataram que o modelo de Thompsom representou, de forma satisfatória, os dados experimentais, apresentando valores elevados de coeficientes de determinação ( $R^2 > 0,999$ ) e baixos de desvio-padrão da estimativa ( $SE < 6,0 \times 10^{-2}$ ) e de qui-quadrado ( $\chi^2 < 3,6 \times 10^{-3}$ ).

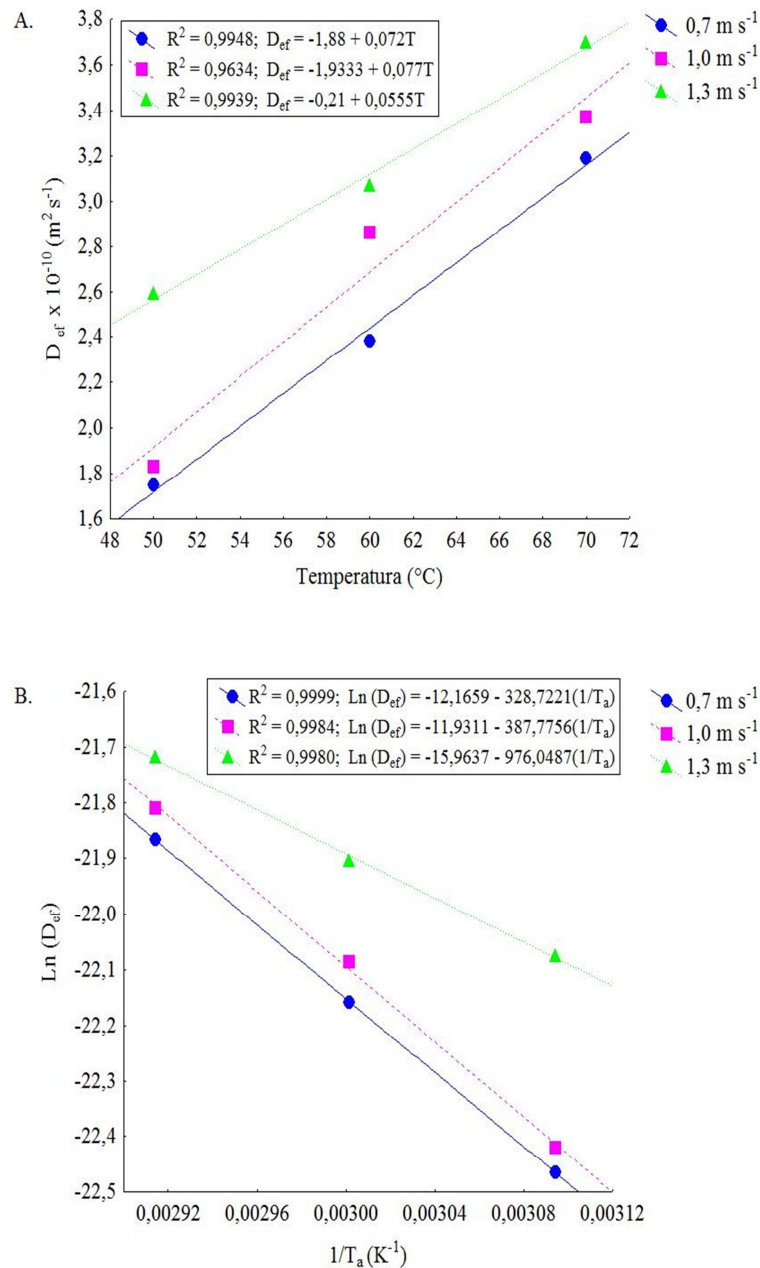
A constante de secagem (k) está diretamente relacionada à difusividade efetiva no processo de secagem no período de taxa decrescente e à difusão líquida que controla o processo (BABALIS e BELESSIOTIS, 2004). A constante de secagem “k” dos modelos de Aproximação da Difusão, Midilli e Page apresentou, de forma geral, tendência de aumento com a elevação da temperatura e da velocidade do ar de secagem. Comportamento similar foi relatado por Tarigan et al. (2007) na secagem de nozes de avelã; e por Roberts et al. (2008) na secagem de sementes de uva, cujos valores de “k” também aumentaram com a elevação da temperatura de secagem.

Em relação ao comportamento dos valores do parâmetro “n”, nos modelos de Page e Midilli, observou-se uma tendência de acréscimo em seus valores com o aumento da temperatura de secagem, no entanto, não apresentaram uma tendência clara em função da velocidade do ar. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (2014) estudando a cinética de secagem dos grãos de feijão guandu e por Chaji e Hedayatizadeh (2017) na secagem de sementes de melancia.

Em relação ao parâmetro “b” verificou-se no modelo de Aproximação da Difusão que houve aumento nos seus valores com a elevação da temperatura de secagem, não apresentando tendência definida em relação ao aumento da velocidade do ar. Santos et al. (2013), ao secarem grãos residuais de urucum, observaram tendência de diminuição dos valores do parâmetro “b” nos modelos de Midilli, Exponencial de Dois Termos e Thompson, com o aumento da temperatura. Por sua vez, Hasan et al. (2014) na secagem de sementes de arroz, perceberam tendência de diminuição do parâmetro “b” para o modelo de Midilli e de aumento para o modelo de Exponencial de Dois termos.

Os valores dos coeficientes de difusão efetivos em função das diferentes temperaturas e os valores de  $\ln(D_{ef})$  em função do inverso da temperatura absoluta ( $K^{-1}$ ) obtidos para a secagem de sementes de abóbora germinadas nas diferentes condições do ar de secagem são mostrados na Figura 4.3. Viu-se que com aumento da temperatura e da velocidade do ar de secagem, ocorreu um incremento nos valores do coeficiente de difusão

efetivo (Figura 4.3A). De acordo com Goneli et al. (2014) a elevação da temperatura diminui a resistência ao movimento da água, o que promove sua maior difusão em direção as camadas mais externas.



**Figura 4.3** - Valores experimentais médios e valores estimados do coeficiente de difusão efetivo ( $D_{ef}$ ) em função da temperatura (A) e representação de Arrhenius para os coeficientes de difusão de sementes de abóbora germinadas em diferentes velocidades do ar de secagem (B)

A magnitude dos coeficientes de difusão efetivos variou de  $1,75$  a  $3,70 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ , para as condições de secagem de  $v = 0,7 \text{ m s}^{-1}$ ,  $T = 50 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $v = 1,3 \text{ m s}^{-1}$ ,  $T = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ , respectivamente, situando-se na faixa relatada por Babalis e Belessiotis (2004) para alimentos, que é de  $10^{-11}$  a  $10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ . Sacilik (2007), Niamnuy et al. (2012) e Doymaz (2014) também encontraram valores de coeficientes de difusão efetivos na ordem de  $10^{-10}$  a  $10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  durante a secagem de sementes de abóbora sem casca, sementes de soja e sementes de melância, respectivamente.

A energia de ativação ( $E_a$ ) foi determinada a partir da inclinação da curva da representação da equação do tipo Arrhenius (Equação 3.17), fornecendo a relação  $(-E_a/R)$  ao se plotar os valores de  $\ln(D_{ef})$  versus o inverso da temperatura absoluta  $(1/(T+273,15))$  do ar de secagem, enquanto que o  $\ln(D_o)$  foi obtido por sua interseção com o eixo das ordenadas (Figura 4.3B). A dependência dos coeficientes de difusividade efetivos da temperatura, para as velocidades de  $0,7$ ,  $1,0$  e  $1,3 \text{ m s}^{-1}$ , pode ser representada pelas Equações 4.1, 4.2 e 4.3, respectivamente.

$$D_{ef} = 5,2049 \times 10^{-6} \exp\left(-\frac{2732,995}{RT_a}\right) \quad (4.1)$$

$$D_{ef} = 6,5824 \times 10^{-6} \exp\left(-\frac{3223,966}{RT_a}\right) \quad (4.2)$$

$$D_{ef} = 1,669 \times 10^{-7} \exp\left(-\frac{8114,868}{RT_a}\right) \quad (4.3)$$

Conforme verificado nas Equações 4.1, 4.2 e 4.3 a energia de ativação para a difusão líquida das sementes de abóbora germinadas foi de  $2,73$ ,  $3,22$  e  $8,11 \text{ kJ mol}^{-1}$ , respectivamente. Esses valores foram inferiores aos reportados por Sousa et al. (2011) na secagem de sementes de nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) ( $24,78 \text{ kJ mol}^{-1}$ ), Morais (2013) na secagem de grãos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) ( $27,16 \text{ kJ mol}^{-1}$ ) e Corrêa et al. (2010) na secagem de grãos de café (*Coffea arabica* L.) ( $38,4 \text{ kJ mol}^{-1}$ ). Quando relacionada ao processo de secagem, a energia de ativação pode ser entendida como a energia que deve ser fornecida ao produto para que se inicie a difusão de água (Oliveira et al., 2010). Logo, os resultados apontam que o processo de secagem das sementes de abóbora germinadas necessita de menor energia, em relação às demais

sementes mencionadas, em qualquer condição do ar de secagem estudada, para que se inicie a difusão de água.

### 4.3 - Caracterização física e físico-química das farinhas de sementes de abóbora germinadas

#### 4.3.1 - Acidez total titulável (ATT)

Na Tabela 4.4 estão os valores médios da acidez total titulável (% ácido oleico) das farinhas de sementes de abóbora germinadas secas em diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C) e velocidades do ar de secagem (0,7; 1,0 e 1,3 m s<sup>-1</sup>). Os valores encontrados variaram entre 0,44 e 0,62% ácido oleico. De forma geral, observou-se que ocorreu tendência de aumento da acidez com a elevação da temperatura e da velocidade do ar de secagem, sendo identificado o maior valor na temperatura de 70 °C e velocidade do ar de 1,3 m s<sup>-1</sup>. Comportamento inverso foi observado por Reis et al. (2017) estudando a estabilidade das propriedades físico-químicas de farinhas de acerola, que verificaram diminuição da acidez titulável das farinhas com o aumento da temperatura de secagem.

**Tabela 4.4** - Valores médios da acidez total titulável (% ácido oleico, b.s.) das farinhas de sementes de abóbora germinadas obtidas em diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem

Temperatura (°C)	Velocidade do ar (m s <sup>-1</sup> )		
	0,7	1,0	1,3
50	0,46 bB	0,51 aA	0,44 cB
60	0,46 bB	0,51 aA	0,51 bA
70	0,53 aB	0,53 aB	0,62 aA

DMS para colunas = 0,03%; DMS para linhas = 0,03%; MG = 0,51%; CV = 2,72%; DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação; As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

### 4.3.2 - Lipídeos

Tem-se na Tabela 4.5 os valores médios dos lipídeos (% b.s.) das farinhas de sementes de abóbora germinadas secas em diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C) e velocidades do ar de secagem (0,7; 1,0 e 1,3 m s<sup>-1</sup>). As médias para os lipídeos variaram entre 41,30 a 48,08%. Observou-se que o aumento da temperatura de secagem teve influência significativa no teor de lipídeos das farinhas, apresentando tendência de estabilidade na velocidade de 0,7 m s<sup>-1</sup>, aumento na velocidade de 1,0 e 1,3 m s<sup>-1</sup>. Em relação ao aumento da velocidade do ar, houve influência significativa nos lipídeos, mas apenas nas temperaturas de 60 e 70 °C. Borges et al. (2006) estudando a composição nutricional da farinha de sementes de abóbora, verificaram ligeira redução no teor de lipídeos com o aumento da temperatura de secagem.

**Tabela 4.5** - Valores médios dos lipídeos (% b.s.) das farinhas de sementes de abóbora germinadas obtidas em diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem

Temperatura (°C)	Velocidade do ar (m s <sup>-1</sup> )		
	0,7	1,0	1,3
50	47,92 aA	41,30 cB	47,94 aA
60	42,65 bC	45,25 aB	46,15 bA
70	47,97 aA	43,11 bB	48,08 aA

DMS para colunas = 0,81%; DMS para linhas = 0,81%; MG = 45,60%; CV = 0,85%; DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação; As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

### 4.3.3 - Intensidade de vermelho (+a\*)

Apresenta-se na Tabela 4.6 os valores médios da intensidade de vermelho (+a\*) das farinhas de sementes de abóbora germinadas secas em diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C) e velocidades do ar de secagem (0,7; 1,0 e 1,3 m s<sup>-1</sup>). Verificou-se que com o incremento na temperatura a intensidade de vermelho apresentou tendência de aumento. Com relação ao aumento da velocidade, notou-se que os valores de +a\* não demonstraram um comportamento bem definido, apresentando tendência de aumento nas temperaturas de 60 e 70 °C e de redução na temperatura de 50 °C. Os valores médios da intensidade de vermelho das farinhas variaram entre 3,28 e 4,77, superiores aos encontrados por Wani et

al. (2013) para farinhas de diferentes cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) em que observaram valores de +a\* variando entre 1,3 e 1,8.

**Tabela 4.6** - Valores médios da intensidade de vermelho (+a\*) das farinhas de sementes de abóbora germinadas obtidas em diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem

Temperatura (°C)	Velocidade do ar (m s <sup>-1</sup> )		
	0,7	1,0	1,3
50	3,78 aA	3,52 aB	3,47 cB
60	3,28 bC	3,52 aB	4,48 bA
70	3,82 aB	3,63 aB	4,77 aA

DMS para colunas = 0,20; DMS para linhas = 0,20; MG = 3,81; CV = 2,53%; DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação; As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

#### 4.3.4 - Intensidade de amarelo (+b\*)

Encontra-se na Tabela 4.7 os valores médios da intensidade de amarelo (+b\*) das farinhas de sementes de abóbora germinadas secas em diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C) e velocidades do ar de secagem (0,7; 1,0 e 1,3 m s<sup>-1</sup>). Observou-se tendência de aumento dos valores de +b\* com o aumento da temperatura e da velocidade do ar. Os valores médios de +b\* nas farinhas variaram de 24,94 a 29,32, superiores aos encontrados por Siddiq et al. (2010) para as farinhas de diferentes variedades de feijão, cujos valores de +b\* variaram de 2,7 a 6,25; e por Torbica et al. (2012) para as farinhas de arroz, trigo sarraceno e de trigo, cujos valores foram de 5, 7 e 10,5, nessa ordem. Notou-se que a predominância da cor das farinhas foi da intensidade de amarelo, por apresentar maiores valores em relação à intensidade de vermelho.



**Tabela 4.7** - Valores médios da intensidade de amarelo (+b\*) das farinhas de sementes de abóbora germinadas obtidas em diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem

Temperatura (°C)	Velocidade do ar (m s <sup>-1</sup> )		
	0,7	1,0	1,3
50	24,94 cC	27,28 bA	26,73 cB
60	27,27 bB	26,45 cC	29,32 aA
70	27,76 aB	28,74 aA	28,41 bA

DMS para colunas = 0,45; DMS para linhas = 0,45; MG = 27,43; CV = 0,79%; DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação; As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

#### 4.3.5 - Luminosidade (L\*)

Analisando-se os valores médios da luminosidade (L\*) das farinhas de sementes de abóbora germinadas secas em diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C) e velocidades do ar de secagem (0,7; 1,0 e 1,3 m s<sup>-1</sup>) (Tabela 4.8), verificou-se que os valores de L\* variaram de 56,24 a 62,25, com uma tendência de diminuição tanto no aumento da temperatura quanto na elevação da velocidade do ar de secagem, representando o escurecimento das farinhas. Reis et al. (2017) verificaram comportamento contrário, no qual, ocorreu o aumento do parâmetro L\* da cor das farinhas de acerola com o aumento da temperatura de secagem. Silva et al. (2012) estudando as propriedades nutricionais e tecnológicas de farinhas de soja observaram valores de L\* variando de 77,79 a 85,50, sendo mais claras do que as farinhas das sementes germinadas de abóbora.

**Tabela 4.8** - Valores médios da luminosidade (L\*) das farinhas de sementes de abóbora germinadas obtidas em diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem

Temperatura (°C)	Velocidade do ar (m s <sup>-1</sup> )		
	0,7	1,0	1,3
50	62,25 aA	62,07 aA	59,56 aB
60	59,31 bA	58,59 bB	57,83 bC
70	56,44 cA	56,33 cB	56,24 cC

DMS para colunas = 0,37; DMS para linhas = 0,37; MG = 58,18; CV = 0,31%; DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação; As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

#### 4.3.6 - Densidade aparente

Na Tabela 4.9 estão os resultados médios da densidade aparente das farinhas de sementes de abóbora germinadas secas em diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C) e velocidades do ar de secagem (0,7; 1,0 e 1,3 m s<sup>-1</sup>).

**Tabela 4.9** - Valores médios das densidades aparentes (g cm<sup>-3</sup>) das farinhas de sementes de abóbora germinadas obtidas em diferentes temperaturas de secagem e velocidades do ar

Temperatura (°C)	Velocidade do ar (m s <sup>-1</sup> )		
	0,7	1,0	1,3
50	0,3046 bA	0,2782 cB	0,3006 bA
60	0,2947 bB	0,2981 bB	0,3282 aA
70	0,3374 aA	0,3300 aA	0,3336 aA

DMS para colunas = 0,0140 g cm<sup>-3</sup>; DMS para linhas = 0,0140 g cm<sup>-3</sup>; MG = 0,3117 g cm<sup>-3</sup>; CV = 2,26%; DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação; As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

Observou-se que com a elevação da temperatura de secagem há uma tendência de aumento da densidade aparente. Em relação ao aumento da velocidade do ar não foi percebido um comportamento padrão. Constatou-se que as médias da densidade aparente das farinhas variaram de 0,2782 a 0,3374 g cm<sup>-3</sup>, sendo inferiores aos valores encontrados para as farinhas de sementes germinadas de sorgo (0,58-0,70 g cm<sup>-3</sup>) (ELKHALIFA e BERNHARDT, 2010), farinhas do farelo de milho (0,50-0,60 g cm<sup>-3</sup>) (KRISHNAN et al., 2011) e farinhas de sementes de mucuna (*Mucuna flagellipes*) (0,55-1,17 g cm<sup>-3</sup>) (ONUENGBU et al., 2013).

#### 4.3.7 - Densidade compactada

Na Tabela 4.10 tem-se os valores médios das densidades compactadas das farinhas de sementes de abóbora germinadas secas em diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C) e velocidades do ar de secagem (0,7; 1,0 e 1,3 m s<sup>-1</sup>). Avaliando-se o comportamento da densidade compactada com o aumento da temperatura, observou-se uma tendência de aumento da mesma. Em relação ao aumento da velocidade do ar não foi detectado um comportamento padrão. Verificou-se que os valores médios das densidades compactadas

das farinhas variaram de 0,3714 a 0,4254 g cm<sup>-3</sup>, valores esses inferiores aos encontrados para as farinhas de banana (0,53-0,66 g cm<sup>-3</sup>) (SAVLAK et al., 2016).

**Tabela 4.10** - Valores médios das densidades compactadas (g cm<sup>-3</sup>) das farinhas de sementes de abóbora germinadas obtidas em diferentes temperaturas de secagem e velocidades do ar

Temperatura (°C)	Velocidade do ar (m s <sup>-1</sup> )		
	0,7	1,0	1,3
50	0.3876 bA	0.3568 cB	0.3789 bA
60	0.3714 bB	0.3790 bB	0.4208 aA
70	0.4254 aA	0.4232 aA	0.4241 aA

DMS para colunas = 0,0210 g cm<sup>-3</sup>; DMS para linhas = 0,0210 g cm<sup>-3</sup>; MG = 0,3964 g cm<sup>-3</sup>; CV = 2,65%; DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação; As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

#### 4.3.8 - Fator de Hausner (FH)

Na Tabela 4.11 tem-se os valores médios do fator de Hausner (FH) das farinhas de sementes de abóbora germinadas secas em diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C) e velocidades do ar de secagem (0,7; 1,0 e 1,3 m s<sup>-1</sup>). Observou-se que os valores de FH não foram influenciados pela temperatura e velocidade do ar de secagem com as médias não apresentando diferenças estatísticas. O valor de FH variou de 1,26 a 1,28 que de acordo com a classificação de Savlak et al. (2016) as farinhas de sementes de abóbora germinadas apresentam uma coesividade intermediária (FH entre 1,2 a 1,4).

**Tabela 4.11** - Valores médios do Fator de Hausner das farinhas de sementes de abóbora germinadas obtidas em diferentes temperaturas de secagem e velocidades do ar

Temperatura (°C)	Velocidade do ar (m s <sup>-1</sup> )		
	0,7	1,0	1,3
50	1,27 aA	1,28 aA	1,26 aA
60	1,26 aA	1,27 aA	1,28 aA
70	1,26 aA	1,28 aA	1,27 aA

DMS para colunas = 0,055; DMS para linhas = 0,055; MG = 1,27; CV = 2,10%; DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação; As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

### 4.3.9 - Índice de Carr (IC)

Estão apresentados na Tabela 4.12 os valores médios do Índice de Carr (IC) das farinhas de sementes de abóbora germinadas secas em diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C) e velocidades do ar de secagem (0,7; 1,0 e 1,3 m s<sup>-1</sup>).

**Tabela 4.12** - Valores médios do Índice de Carr (%) das farinhas de sementes de abóbora germinadas obtidas em diferentes temperaturas de secagem e velocidades do ar

Temperatura (°C)	Velocidade do ar (m s <sup>-1</sup> )		
	0,7	1,0	1,3
50	21,33 aA	22,00 aA	20,66 aA
60	20,66 aA	21,33 aA	22,00 aA
70	20,66 aA	22,00 aA	21,33 aA

DMS para colunas = 3,40%; DMS para linhas = 3,40%; MG = 21,33%; CV = 7,65%; DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação; As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

Observou-se que os valores de IC variaram entre 20,66 a 22,00%. Não foram verificadas diferenças significativas nos valores médios do IC entre as temperaturas e as velocidades do ar de secagem. Valores de IC entre 15-20% indicam boa fluidez, entre 20-35% pobre fluidez, entre 35-45 % fluidez ruim e IC > 45 fluidez muito ruim (SAVLAK et al., 2016). Dessa forma, as farinhas de sementes de abóbora germinadas podem ser caracterizadas por possuir uma pobre fluidez.

### 4.3.10 - Solubilidade

A Tabela 4.13 apresenta os valores médios da solubilidade das farinhas de sementes de abóbora germinadas secas em diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C) e velocidades do ar de secagem (0,7; 1,0 e 1,3 m s<sup>-1</sup>). Não foi observado um comportamento definido da solubilidade com o aumento da temperatura e da velocidade do ar. Os valores da solubilidade variaram entre 5,25 e 9,05%. Qin-lu et al. (2011) encontraram para farinhas de arroz valores de solubilidade entre 2,1 e 4,0%; enquanto, Obadina et al. (2016) observaram, para as farinhas de grãos de milho torrados, valores de solubilidade variando de 5,12 a 7,76%.

**Tabela 4.13** - Valores médios da solubilidade (%) das farinhas de sementes de abóbora germinadas obtidas em diferentes temperaturas de secagem e velocidades do ar

Temperatura (°C)	Velocidade do ar (m s <sup>-1</sup> )		
	0,7	1,0	1,3
50	5,60 bA	6,33 bA	5,54 bA
60	7,55 aB	9,05 aA	7,05 aB
70	5,83 bA	5,70 bA	5,25 bA

DMS para colunas = 1,39%; DMS para linhas = 1,39%; MG = 6,43%; CV = 10,37%; DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação; As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

#### 4.3.11 - Molhabilidade

Encontra-se na Tabela 4.14 os valores médios da molhabilidade das farinhas de sementes de abóbora germinadas secas em diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C) e velocidades do ar de secagem (0,7; 1,0 e 1,3 m s<sup>-1</sup>). A molhabilidade das farinhas variaram entre 40,07 a 63,48 mg s<sup>-1</sup>, essa variação pode ter ocorrido em razão das diferenças do tamanho das partículas e da composição química das diferentes farinhas. Não foi observado um comportamento definido nos valores da molhabilidade com o aumento da temperatura e da velocidade do ar.

**Tabela 4.14** - Valores médios da molhabilidade (mg s<sup>-1</sup>) das farinhas de sementes de abóbora germinadas obtidas em diferentes temperaturas de secagem e velocidades do ar

Temperatura (°C)	Velocidade do ar (m s <sup>-1</sup> )		
	0,7	1,0	1,3
50	63,48 aA	43,87 cB	43,52 aB
60	40,07 bB	61,86 bB	35,24 bC
70	41,45 bB	49,63 bB	40,62 aB

DMS para colunas = 4,29 mg s<sup>-1</sup>; DMS para linhas = 4,29 mg s<sup>-1</sup>; MG = 46,64 mg s<sup>-1</sup>; CV = 4,42%; DMS - Desvio mínimo significativo; MG - Média geral; CV - Coeficiente de variação; As médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

#### 4.4 - Isotermas de adsorção das farinhas de sementes de abóbora germinadas

Na Tabela 4.15 são mostrados os parâmetros de ajuste dos modelos de Oswin, GAB e Peleg ajustados às isotermas de adsorção de água das farinhas das sementes de abóbora germinadas na temperatura de 25 °C, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios percentuais médios (P). Observou-se que todos os modelos testados (Tabela 4.5) podem ser usados na estimativa das isotermas de adsorção de água das farinhas das sementes de abóbora, em razão de terem apresentado  $R^2 > 0,94$  e  $P < 10\%$ , entretanto, o que apresentou os melhores ajustes para a grande maioria das farinhas foi o de Peleg, por apresentar os maiores  $R^2$  e os menores valores de P, este comportamento era esperado em razão deste modelo ter quatro parâmetros e sabe-se que, de forma geral, quanto maior o número de parâmetros melhor o ajuste do modelo aos dados experimentais. Sormoli e Langrish (2015) encontraram boa estimativa das isotermas de adsorção de água do pó de suco de laranja com o ajuste do modelo de Peleg nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C, obtendo  $R^2$  entre 0,970 e 0,990 e P entre 5,2 e 6,3%. Velázquez-Gutiérrez et al. (2015) utilizaram o modelo de GAB para estimar as isotermas do pó da mucilagem liofilizada de sementes de chia (*Salvia hispanica*) nas temperaturas de 25, 35 e 40 °C, obtendo valores de  $R^2 > 0,998$  e  $P < 3\%$ .

**Tabela 4.15** - Parâmetros dos ajustes dos modelos matemáticos de Oswin, GAB e Peleg com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P)

Modelo	Temp. (°C)	Veloc. (m s <sup>-1</sup> )	Parâmetros dos modelos	R <sup>2</sup>	P (%)
Oswin	50	0,7	a: 4,3412; b: 0,4884	0,9947	2,37
		1,0	a: 4,2603; b: 0,5476	0,9950	3,36
		1,3	a: 4,6233; b: 0,5184	0,9930	4,68
	60	0,7	a: 5,6048; b: 0,4759	0,9930	5,12
		1,0	a: 4,5745; b: 0,5785	0,9563	6,62
		1,3	a: 5,4720; b: 0,4808	0,9893	4,51
	70	0,7	a: 4,5526; b: 0,5189	0,9957	4,01
		1,0	a: 5,7309; b: 0,4815	0,9855	4,90
		1,3	a: 5,1528; b: 0,4903	0,9943	3,79

Continuação da Tabela 4.15.

		0,7	$X_m$ : 2,3564; C: 2,2825x10 <sup>1</sup> ; K: 0,9112	0,9963	3,02
	50	1,0	$X_m$ : 2,2037; C: 2,9878x10 <sup>5</sup> ; K: 0,9419	0,9915	4,29
		1,3	$X_m$ : 2,3804; C: 8,8198x10 <sup>2</sup> ; K: 0,9321	0,9918	4,07
		0,7	$X_m$ : 2,8329; C: 1,8342x10 <sup>6</sup> ; K: 0,9193	0,9774	5,56
<b>GAB</b>	60	1,0	$X_m$ : 2,3996; C: 1,6616x10 <sup>5</sup> ; K: 0,9507	0,9589	6,23
		1,3	$X_m$ : 2,7967; C: 1,0003x10 <sup>6</sup> ; K: 0,9190	0,9900	4,03
		0,7	$X_m$ : 2,4208; C: 3,4770x10 <sup>1</sup> ; K: 0,9292	0,9949	3,75
	70	1,0	$X_m$ : 2,8629; C: 1,7661x10 <sup>6</sup> ; K: 0,9242	0,9764	5,62
		1,3	$X_m$ : 2,6417; C: 3,4774x10 <sup>5</sup> ; K: 0,9209	0,9951	2,80
		0,7	$K_1$ : 7,42910; $n_1$ : 0,7204; $K_2$ : 16,4605; $n_2$ : 9,2700	0,9983	1,26
	50	1,0	$K_1$ : 9,17450; $n_1$ : 0,8778; $K_2$ : 24,9443; $n_2$ : 13,4067	0,9945	3,14
		1,3	$K_1$ : 8,63100; $n_1$ : 0,6667; $K_2$ : 23,4141; $n_2$ : 11,8621	0,9948	3,40
		0,7	$K_1$ : 27,1000; $n_1$ : 13,719; $K_2$ : 10,4395; $n_2$ : 0,6308	0,9934	3,41
<b>Peleg</b>	60	1,0	$K_1$ : 53,1652; $n_1$ : 20,044; $K_2$ : 11,1949; $n_2$ : 0,9384	0,9741	5,44
		1,3	$K_1$ : 23,4375; $n_1$ : 10,377; $K_2$ : 8,75750; $n_2$ : 0,4613	0,9930	3,19
		0,7	$K_1$ : 8,44680; $n_1$ : 0,7711; $K_2$ : 21,2860; $n_2$ : 10,4976	0,9931	3,97
	70	1,0	$K_1$ : 10,7321; $n_1$ : 0,5772; $K_2$ : 28,6944; $n_2$ : 13,9817	0,9927	3,56
		1,3	$K_1$ : 21,7923; $n_1$ : 10,347; $K_2$ : 8,61780; $n_2$ : 0,5431	0,9979	2,12

Analisando-se o teor de água na monocamada molecular ( $X_m$ ) do modelo de GAB, ainda na Tabela 4.15, verificou-se que os valores para as farinhas produzidas a partir das diferentes condições de secagem foram muito próximos variando de 2,20 a 2,86% (b.s.). Constatou-se apenas na velocidade do ar de 1,0 m s<sup>-1</sup> que com a elevação da temperatura de secagem houve aumento de  $X_m$ , refletindo maior higroscopicidade da farinha, e nas demais velocidades o comportamento de  $X_m$  foi aleatório.

Valores de  $X_m$  superiores foram encontrados para a farinha de mandioca temperada com valores entre 4,59-5,71% (b.s.) para temperaturas entre 20-40 °C (SANTOS et al., 2004); para a farinha de pinhão com  $X_m$  de 5,17-6,60% (b.s.) para as isotermas nas temperaturas de 10-40 °C (CLADERA-OLIVERA et al., 2011); e para as farinhas de castanha (4,30-4,90% b.s.) e trigo (8,40-8,70% b.s.) para as isotermas nas temperaturas de 20-65 °C (MOREIRA et al., 2010).

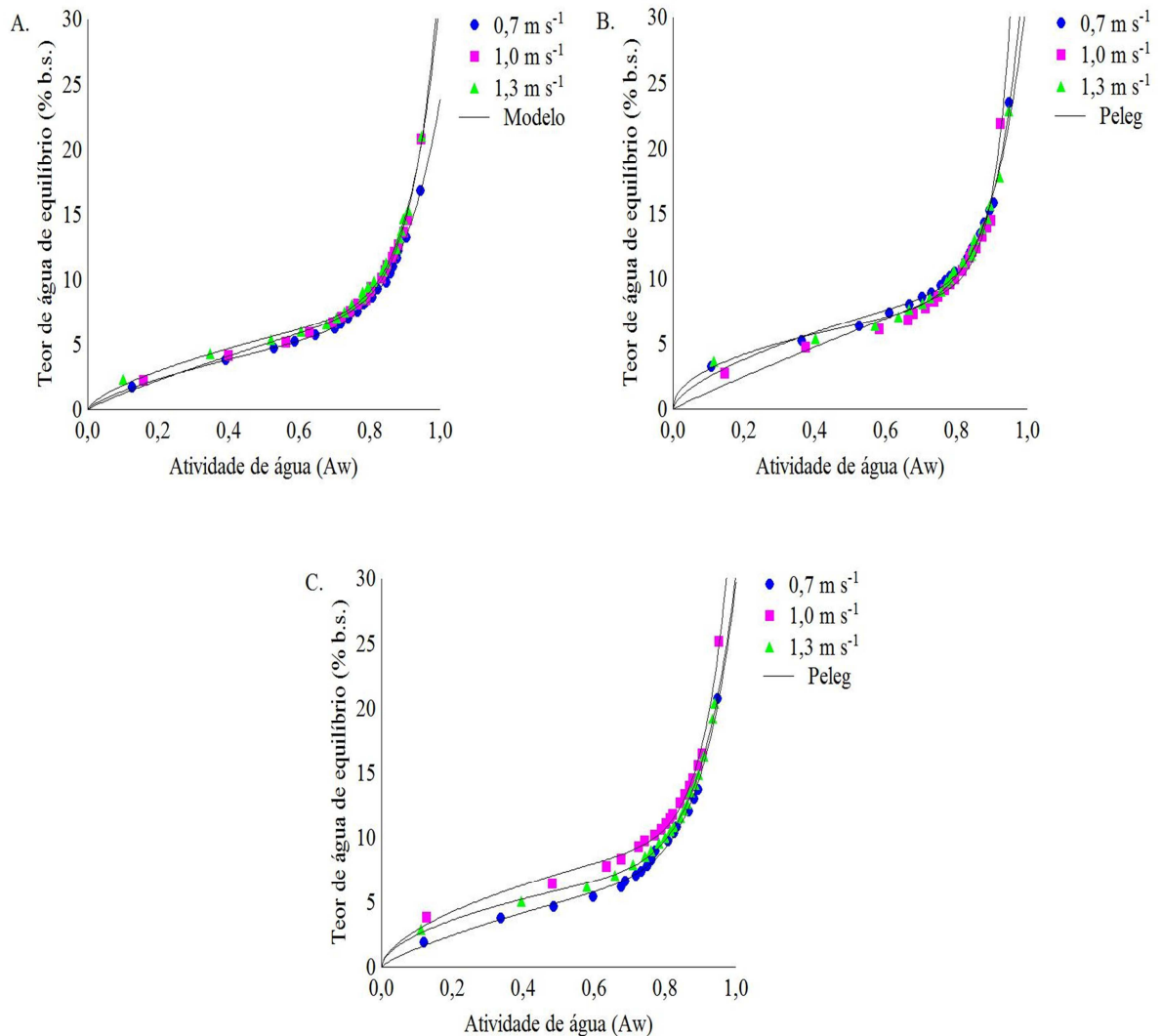
Os valores do parâmetro K do modelo de GAB foram muito próximos variando de 0,9112 a 0,9507 e estão de acordo com a literatura que menciona que os valores de K variam de 0 a 1 (ABEBE e RONDA, 2015). Sormoli e Langrish (2015) encontraram valores de K entre 0,940 e 0,994 para as isotermas nas temperaturas de 20-50 °C do pó de laranja.

Os valores de C apenas na velocidade de 0,7 m s<sup>-1</sup> e temperaturas de 50 e 70 °C tem significado físico, nas demais condições esses valores foram muito alto perdendo o significado físico, tratando-se apenas de um valor numérico obtido no ajuste do modelo. Doporto et al. (2012) avaliando as isotermas do amido de mandioca nas temperaturas de 10, 20 e 30 °C encontraram valores de C variando de 10,3 a 26,2; Velázquez-Gutiérrez et al. (2015) identificaram valores de C variando de 4,96 a 6,52 estudando as isotermas do pó da mucilagem liofilizada de sementes de chia nas temperaturas de 25, 35 e 40 °C.

Viu-se que todas as isotermas de adsorção de água das farinhas das sementes germinadas de abóbora foram classificadas como Tipo II (sigmoide), por apresentarem  $0 < K \leq 1$  e  $C > 2$  (BLAHOVEC, 2004). Esse tipo de isoterma foi observado para a farinha de pinhão (CLADERA-OLIVERA et al., 2011); farinha de mandioca (CHISTÉ et al., 2015); farinha das sementes de noni (LE MOS et al., 2016); farinha de banana (CARDOSO e PENA, 2014); e farinha e amido isolado de arroz (TORRES e SEIJO, 2016).

Na Figura 4.4 se encontram as isotermas de adsorção de água das farinhas de sementes de abóbora germinadas na temperatura 25 °C com ajustes pelo modelo de Peleg, considerado o melhor modelo para estimação das isotermas. Observou-se que o teor de água de equilíbrio das farinhas variaram de 1,72 a 22,84% (b.s.), sendo diferentes aos do pó de abóbora, determinado através das isotermas de adsorção de água a 25 °C, que variaram entre 6,7 e 17,5% (b.s.) (COSTA et al., 2003); dos grãos de abóbora que variaram entre 6,53 e 16,52% (b.s.) para as isotermas nas temperaturas de 20, 30, 55 e 70 °C (TEIXEIRA et al., 2014). O teor de água de equilíbrio das farinhas aumentou lentamente até  $A_w \leq 0,7$  e rapidamente acima desse valor. Comportamento também verificado por GUINÉ et al. (2014) os quais relataram que em atividades de água baixas e intermediárias ( $\leq 0,7$ ), usualmente conhecida como região de sorção nas multicamadas, o teor de água aumenta de forma não linear com o aumento da atividade de água, enquanto em níveis de atividade de água mais elevados, o teor de água aumenta acentuadamente com o aumento da atividade de água, devido principalmente ao fenômeno de capilaridade.





**Figura 4.4** - Isotermas de adsorção de água à 25 °C das farinhas obtidas de sementes de abóbora germinadas secas nas temperaturas de 50 (A), 60 (B) e 70 (C) °C em diferentes velocidades do ar

As curvas das isotermas das farinhas das sementes secas nas temperaturas de 50 e 60 °C, Figuras 4.5A e B, respectivamente, ficaram muito próximas, enquanto, notou-se um distanciamento entre as isotermas das farinhas das sementes secas na temperatura de 70 °C em  $A_w < 0,8$  (Figura 4.4C). Isso pode ser atribuído à uma redução da capacidade total de sorção de água da farinha, que pode estar relacionada ao fato de que em altas temperaturas ocorrem maiores alterações físico-químicas e estruturais nos materiais e, portanto, modificações nos sítios de ligação com moléculas de água (Velázquez-Gutiérrez et al., 2015). Park et al. (2008) reforçaram que a forma das isotermas está diretamente relacionada com a composição química do produto (lipídeos, proteínas, carboidratos, etc.).

## 5 - CONCLUSÕES

O processo de germinação das sementes de abóbora modifica sua composição química, provocando aumento no seu teor de água, proteínas, lipídeos e açúcares redutores que, de forma geral, melhora a qualidade nutricional das sementes. No entanto, causa a redução no teor de carboidratos, cinzas, compostos fenólicos e taninos. Apesar da redução nos compostos fenólicos ser considerado um ponto negativo, uma vez que esses apresentam atividade antioxidante, à redução da concentração de taninos melhora a biodisponibilidade dos nutrientes, principalmente das proteínas, o que confere a germinação das sementes de abóbora uma propriedade positiva, uma vez que melhora a sua qualidade como fonte de nutrientes.

O tempo final de secagem das sementes de abóbora germinadas diminuiu com o aumento da temperatura. Entre os modelos matemáticos utilizados para o ajuste dos dados experimentais da secagem, os modelos de Aproximação da Difusão, Dois Termos, Midilli, Page e Thompson, nessa ordem, são considerados os melhores, pois apresentaram elevados valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e baixos valores de desvios quadráticos médios (DQM) e de qui-quadrado ( $\chi^2$ ), além de distribuição aleatória dos resíduos.

Com relação à caracterização física e físico-química das farinhas ocorre, de forma geral, com um aumento da temperatura e da velocidade do ar de secagem das sementes de abóbora germinadas a elevação da acidez, do teor de lipídeos, da intensidade de vermelho (+a\*), embora não tão bem definida, e da intensidade de amarelo (+b\*), mas reduz a luminosidade ( $L^*$ ), o que resulta no escurecimento da coloração das farinhas. Além disso, a densidade aparente e compactada das farinhas apresentam tendência de aumento com a elevação da temperatura.

As isotermas de adsorção de água das farinhas são classificadas como sendo do Tipo II. Dentre os modelos matemáticos ajustados as isotermas das farinhas o de Peleg é o que melhor se ajusta aos dados experimentais, apresentando os maiores valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os menores desvios percentuais médios (P).

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEBE, W.; RONDA, F. Flowability, moisture sorption and thermal properties of tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter] grain flours. **Journal of Cereal Science**, v.63, n.1, p.14-20, 2015.

ADEBIYI, A.; OBADINA, A. O.; MULABA-BAFUBIANDI, A. F.; ADEBO, O. A.; KAYITESI, E. Effect of fermentation and malting on the microstructure and selected physicochemical properties of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) flour and biscuit Janet. **Journal of Cereal Science**, v.70, n.1, p.132-139, 2016.

ALMEIDA, F. A. C.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M. **Tecnologia de armazenagem em sementes**. Campina Grande: UFPB, 2006. v.1, 402p.

ANSELMO, G. C. S.; MATA, M. E. R. M.; RODRIGUES. Comportamento higroscópico do extrato seco de urucum (*Bixa Orellana* L). **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.6, p.1888-1892, 2008.

AVHAD, M. R.; MARCHETTI, J. M. Mathematical modelling of the drying kinetics of Hass avocado seeds. **Industrial Crops and Products**, v.91, n.1, p.76–87, 2016.

AYDIN, E.; GOCMEN, D. The influences of drying method and metabisulfite pre-treatment on the color, functional properties and phenolic acids contents and bioaccessibility of pumpkin flour. **LWT - Food Science and Technology**, v.60, n.1, p.385-392, 2015.

BABALIS, S. J.; BELESSIOTIS, V. G. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. **Journal of Food Engineering**, v.65, n.3, p.449-458, 2004.

BARAK, S.; MUDGIL, D.; KHATKAR, B. S. Relationship of gliadin and glutenin proteins with dough rheology, flour pasting and bread making performance of wheat varieties. **LWT - Food Science and Technology**, v.51, n.1, p.211-217, 2013.

BELMIRO, T. M. C.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; FERNANDES, T. K. S.; BEZERRA, M. C. T. Alterações químicas e físico-químicas em grãos de abóbora durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.9, p.1000-1007, 2010.

BEZERRA, C. V.; DA SILVA, L. H. M.; CORRÊA, D. F.; RODRIGUES, A. M. C. A modeling study for moisture diffusivities and moisture transfer coefficients in drying of passion fruit peel. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v.85, p.750-755, 2015.

BHOL, S.; BOSCO, S. J. D. Influence of malted finger millet and red kidney bean flour on quality characteristics of developed bread. **LWT - Food Science and Technology**, v.55, n.1, p.294-300, 2014.

BLAHOVEC, J. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. **Journal of Food Engineering**, v.65, n.1, p.489-495, 2004.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v.37, n.1, p.911-917, 1959.

BORGES, S. V.; BONILHA, C. C.; MANCINI, M. C. Sementes de jaca (*Artocarpus integrifolia*) e de abóbora (*Curcubita moschata*) desidratadas em diferentes temperaturas e utilizadas como ingredientes em biscoitos tipo cookie. **Alimentos e Nutrição**, v.17, n.3, p.317-321, 2006.

BRASIL. INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2005. 1020 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa, 2009. 395 p.

CAPRISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorption equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science**, v. 47, n.1, p.1501-1507, 1982.

CARDOSO, J. M.; PENA, R. S. Hygroscopic behavior of banana (*Musa* ssp. AAA) flour in different ripening stages. **Food and Bioproducts Processing**, v.92, n.1, p.73-79, 2014.

CEVALLOS-CASALS, B. A.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. Impact of germination on phenolic content and antioxidant activity of 13 edible seed species. **Food Chemistry**, v.119, n.4, p.1485-1490, 2010.

CHAJI, H.; HEDAYATIZADEH, M. Quality assessment and kinetics of dehydrated watermelon seeds: Part 1. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v.10, n.1, p.1-8, 2017.

CHEN, Z.; YU, L.; WANG, X.; GU, Z. BETA, T. Changes of phenolic profiles and antioxidant activity in canaryseed (*Phalaris canariensis* L.) during germination. **Food Chemistry**, v.194, p.608-618, 2016.

CHIELLE, D. P.; BERTUOL, D. A.; MEILI, L.; TANABE, E. H.; DOTTO, G. L. Convective drying of papaya seeds (*Carica papaya* L.) and optimization of oil extraction. **Industrial Crops and Products**, v.85, n.1, p.221-228, 2016.

CHINMA, C. E.; ADEWUYI, O.; ABU, J. O. Effect of germination on the chemical, functional and pasting properties of flour from brown and yellow varieties of tigernut (*Cyperus esculentus*). **Food Research International**, v.42, p.1004-1009, 2009.

CHISTÉ, R. C.; CARDOSO, J. M.; SILVA, D. A.; PENA, R. S. Hygroscopic behaviour of cassava flour from dry and water groups. **Ciência Rural**, v.45, n.8, p.1515-1521, 2015.

CLADERA-OLIVERA, F.; MARCZAK, L. D. F.; NOREÑA, C. P. Z.; PETTERMANN A. C. Modeling water adsorption isotherms of pinhão (*Araucaria angustifolia*) flour and thermodynamic analysis of the adsorption process. **Journal of Food Process Engineering**, v. 34, n.3, p.826-843, 2011.

CORADI, P. C.; FERNANDES, C. H. P.; HELMICH, J. C. Adjustment of mathematical models and quality of soybean grains in the drying with high temperatures. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.4, p.385-392, 2016.

CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M.; GONELI, A. L. D.; CARVALHO, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, v.57, n.5, p.595-601, 2010.

COSTA, L. M.; RESENDE, OSVALDO.; SOUSA, K. A.; Gonçalves, D. N. Coeficiente de difusão efetivo e modelagem matemática da secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.10, p.1089-1096, 2011.

COSTA, J. M. C.; MEDEIROS, M. F. D.; MATA, A. L. M. L. Isotermas de adsorção de pós-beterraba (*Beta vulgaris* L.), abóbora (*Cucurbita moschata*) e cenoura (*Daucus carota*) obtidos pelo processo de secagem em leito de jorro estudo comparativo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n.1, p.39-43, 2003.

CRANK, J. **Mathematics of diffusion**. 2 ed. Oxford University Press, UK, 1975.

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.

DONADON, J. R.; RESENDE, O.; TEIXEIRA, S. P.; SANTOS, J. M.; MORO, F. V. Effect of hot air drying on ultrastructure of crambe seeds. **Drying Technology**, v.31, n.3, p. 269-276, 2013.

DONKOR O. N.; STOJANOVSKA, L.; GINN, P.; ASHTON, J.; VASILJEVIC, T. Germinated grains: sources of bioactive compounds. **Food Chemistry**, v.135, n.3, p.950-959, 2012.

DOPORTO, M. C.; DINI, C.; MUGRIDGE, A.; VIÑA, S. Z.; GARCÍA, M. A. Physicochemical, thermal and sorption properties of nutritionally differentiated flours and starches. **Journal of Food Engineering**, v.113, n.4, p.569-576, 2012.

DOTTO, G. L., SOUZA, V. C., PINTO, L. A. A. Drying of chitosan in a spouted bed: the influences of temperatures and equipment geometry in powder quality. **LWT - Food Science and Technology**, v.44, n.8, p.1786-1792, 2011.

DOYMAZ, I. Experimental study and mathematical modeling of thin-layer infrared drying of watermelon seeds. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.38, n.3, p.1377-1384, 2014.

DUEÑAS, M.; HERNÁNDEZ, T.; ESTRELLA, I.; FERNÁNDEZ, D. Germination as a process to increase the polyphenol content and antioxidant activity of lupin seeds (*Lupinus angustifolius* L.). **Food Chemistry**, v.117, n. 4, p.599-607, 2009.

EASTMAN, J. E.; MOORE, C.O. **Cold water-soluble granular starch for gelled food composition**. U.S. Patent 4465702, 1984.

**FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division**. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>>. Acesso em: 10 de Janeiro de 2017.

ELKHALIFA, A. E. O.; BERNHARDT, R. Influence of grain germination on functional properties of sorghum flour. **Food Chemistry**, v.121, n.2, p.387-392, 2010.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.

FERREIRA, J. P. L.; BARROSO, A. J. R.; LINS, A. D. F.; ROCHA, A. P. T.; SANTOS, D. C.; ARAÚJO, G. T. Secagem por atomização do suco da abóbora variedade jacarezinho. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.18, n.1, p.477-486, 2016.

GAMEL, T. H.; LINSSEN, J. P.; MESALLEM, A. S.; DAMIR, A. A., SHEKIB, L. A. Effect of seed treatments on the chemical composition and properties of two amaranth species: starch and protein. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.85, n.2, p.319-327, 2005.

GIRI, S. K.; PRASAD, S. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. **Journal of Food Engineering**, v.78, n.2, p.512–521, 2007.

GONELI, A. L. D.; VIEIRA, M. C.; VILHASANTI, H. C. B.; GONÇALVES, A. A. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.44, n.1, p.56-64, 2014.

GUINÉ, R. P. F.; PINHO, S.; BARROCA, M. J. Study of the convective drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*). **Food and Bioproducts Processing**, v.89, n.4, p.422-428, 2011.

GUINÉ, R. P. F.; BARROCA, M. J. Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). **Food and Bioproducts Processing**, v.90, n.1, p.58-63, 2012.

GUINÉ, R. P. F.; BARROCA, M. J.; PEREIRA, D.; CORREIA, P. M. R. Adsorption isotherms of maria biscuits from different brands. **Journal of Food Process Engineering**, v.37, n.3, p.329-337, 2014.

GOLDSTEIN, J. L.; SWAIN, T. Changes in tannis in ripening fruits. **Phytochemistry**, v.2, n.4, p.371-383, 1963.

HASAN, A. A. M.; BALA, B. K.; ROWSHON, M. K. Thin layer drying of hybrid rice seed. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v.7, n.4, p.169-175, 2014.

HAUSNER, H. H. Friction conditions in a mass of metal powder. **Powder Metall**, v.3, n.1, p.7-13, 1967.

HEJAZI, S. N.; ORSAT, V.; AZADI, B.; KUBOW, S. Improvement of the in vitro protein digestibility of amaranth grain through optimization of the malting process. **Journal of Cereal Science**, v.68, n.1, p.59-65, 2016.



HEMIS, M.; CHOUDHARY, R.; GARIEPY, Y.; RAGHAVAN, V. G. S. Experiments and modelling of the microwave assisted convective drying of canola seeds. **Biosystems engineering**, v.139, n.1, p.121-127, 2015.

HUANG, X.; CAI, W.; XU, B. Kinetic changes of nutrients and antioxidant capacities of germinated soybean (*Glycine max* L.) and mung bean (*Vigna radiata* L.) with germination time. **Food Chemistry**, v.143, n.1, p.268-276, 2014.

IRIGOYEN, R. M. T.; GINER, S. A. Drying-toasting kinetics of presoaked soybean in fluidised bed. Experimental study and mathematical modelling with analytical solutions. **Journal of Food Engineering**, v.128, n.1, p.31-39, 2014.

JIAO, J.; LI, Z. G.; GAI, Q. Y.; LI, X. J.; WEI, F. Y.; FU, Y. J.; MA, W. Microwave assisted aqueous enzyme extraction of pumpkin seed oil and evaluation of its physicochemical properties, fatty acid compositions and antioxidant activities. **Food Chemistry**, v.147, n.1, p.17-24, 2014.

JOHANN, G.; MENEZES, M. de L.; PEREIRA, N. C.; SILVA, E. A. Comparing models to Neumann and Dirichlet conditions in grape seed drying. **Applied Thermal Engineering**, v.93, n.1, p.865-871, 2016.

KALITA, D.; SARMA, B.; SRIVASTAVA, B. Influence of germination conditions on malting potential of low and normal amylose paddy and changes in enzymatic activity and physic chemical properties. **Food Chemistry**, v.220, p.67-75, 2017.

KRISHNAN, R.; DHARMARAJ, U.; MANOHAR, R. S.; MALLESHI, N. G. Quality characteristics of biscuits prepared from finger millet seed coat based composite flour. **Food Chemistry**, v.129, n.2, p.499-506, 2011.

KIM, S. L.; LEE, J. E.; KWON, Y. U.; KIM, W. H.; JUNG, G. H.; KIM, D. W.; LEE, C. K.; LEE, Y. Y.; KIM, M. J.; KIM, Y. H.; HWANG, T. Y.; CHUNG, I. M. Introduction and nutritional evaluation of germinated soy germ. **Food Chemistry**, v.136, n.2, p.491-500, 2013.

KOMATSUZAKI, N.; TSUKAHARA, K.; TOYOSHIMA, H.; SUZUKI, T.; SHIMIZU, N.; KIMURA, T. Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. **Journal of Food Engineering**, v.78, n.2, p.556-560, 2007.

KONOPACKA, D.; SEROCZYNSKA, A.; KORZENIEWSKA, A.; JESIONKOWSKA, K.; NIEMIROWICZ-SZCZYTT, K.; PLOCHARSKI, W. Studies on the usefulness of *Cucurbita maxima* for the production of ready-to-eat dried vegetable snacks with a high carotenoid content. **LWT - Food Science and Technology**, v.43, n.2, p.302-309, 2010.

KROKIDA, M. K.; KARATHANOS, V. T.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Drying kinetics of some vegetables. **Journal of Food Engineering**, v.59, n.4, p.391-403, 2003.

LAGO, C. C.; NOREÑA, C. P. Z. Thermodynamic analysis of sorption isotherms of dehydrated yacon (*Smallanthus sonchifolius*) bagasse. **Food Bioscience**, v.12, n.1, p.26-33, 2015.

LANNES, S. C. S.; MEDEIROS, M. L. Processamento de achocolatado de cupuaçu por spray dryer. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v.39, n.1, p.115-123, 2003.

LEMO, D. M.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; SOUSA, E. P.; OLIVEIRA, E. N. A. Obtenção das isoterms de adsorção das farinhas das sementes de noni (*Morinda citrifolia* L.). In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2., 2016. **Anais...** Foz do Iguaçu: CONFEA, 2016.

LIMA, E. E.; SILVA, A. S. A.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Estudo das isoterms e calor isostérico de adsorção da farinha da coroa de frade. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.10, n.2, p. 163-170, 2008.

LÓPEZ-AMORÓS, M. L.; HERNÁNDEZ, T.; ESTRELLA, I. Effect of germination on legume phenolic compounds and their antioxidant activity. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.19, n.4, p.277-283, 2006.

LIU, C.; GE, Y.; WANG, D.; LI, X.; YANG, X.; CUI, C.; QU, S. Morphological and molecular diversity in a collection of pumpkin seed germplasm. **Scientia Horticulture**, v.154, n.1, p.8-16, 2013.

MARTI, A.; CARDONE, G.; NICOLODI, A.; QUAGLIA, L.; PAGANI, M. A. Sprouted wheat as an alternative to conventional flour improvers in bread-making. **LWT - Food Science and Technology**, v.80, n.1, p.230-236, 2017.

MENDONÇA, A. P.; SAMPAIO, P. T. B.; ALMEIDA, F. A. C.; FERREIRA, R. F.; NOVAIS, J. M. Determinação das curvas de secagem das sementes de andiroba em secador solar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.4, p.382-387, 2015.

MOCELIN, B.; OLIVEIRA, D. L.; CHIELLE, D. P.; TANABE, E. H.; BERTUOL, D. A.; SCHWAAB, M.; MEILI, L. Mathematical modeling of thin layer drying of papaya seeds in atunnel dryer using particle swarm optimization method. **Particulate Science and Technology**, v. 32, n.2, p.123-130, 2014.

MOHAN, B. H.; MALLESHI, N. G.; KOSEKI, T. Physico-chemical characteristics and non-starch polysaccharide contents of Indica and Japonica brown rice and their malts. **LWT - Food Science and Technology**, v.43, n.5, p.784-791, 2010.

MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1978. 734 p.

MONDOR, M.; GUÉVREMONT, E.; VILLENEUVE, S. Processing, characterization and bread-making potential of malted yellow peas. **Food Bioscience**, v.7, n.1, p.11-18, 2014.

MOONGNGARM, A.; SAETUNG, N. Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated rough rice and brown rice. **Food Chemistry**, v.122, n.3, p.782-788, 2010.

MORAIS, S. J. S.; DEVILLA, I. A.; FERREIRA, D. A.; TEIXEIRA, I. R. Modelagem matemática das curvas de secagem e coeficiente de difusão de grãos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.3, p.455-463, 2013.

MOREIRA, R.; CHENLO, F.; TORRES, M. D.; PRIETO, D. M. Water adsorption and desorption isotherms of chestnut and wheat flours. **Industrial Crops and Products**, v.32, n.1, p.252-257, 2010.

MOURA, F. A.; SPIER, F.; ZAVAREZE, E. R.; DIAS, A. R. G.; ELIAS, M. C. Biscoitos tipo “cookie” elaborados com diferentes frações de semente de abóbora (*Curcubita maxima*). **Alimentos e Nutrição**, v.21, n.4, p.579-585, 2010.

NAVES, L. P.; CORRÊA, A. D.; ABREU, C. M. P.; SANTOS, C. D. Nutrientes e propriedades funcionais em sementes de abóbora (*Cucurbita maxima*) submetidas a diferentes processamentos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, n.1, p.185-190, 2010.

NAWIRSKA, A.; FIGIEL, A.; KUCHARSKA, A. Z.; TOWSKA, A. S.; BIESIADA, A. Drying kinetics and quality parameters of pumpkin slices dehydrated using different methods. **Journal of Food Engineering**, v.94, n.1, p.14-20, 2009.

NAWIRSKA-OLSZAŃSKA, A.; KITA, A.; BIESIADA, A.; SOKÓŁ-ŁĘTOWSKA, A.; KUCHARSKA, A. Z. Characteristics of antioxidant activity and composition of pumpkin seed oils in 12 cultivars. **Food Chemistry**, v.139, n.1, p.155-161, 2013.

NIAMNUY, C.; NACHAISIN, M.; POOMSA-AD, N.; DEVAHASTIN, S. Kinetic modelling of drying and conversion/degradation of isoflavones during infrared drying of soybean. **Food Chemistry**, v.133, n.3, p.946-952, 2012.

NOURMOHAMADI-MOGHADAMI, A.; RAHMANIAN-KOUSHKAKI, H.; ZARE, D.; KARIMI, G. Experimental and theoretical investigation of hot air- infrared thin layer drying of corn in a fixed and vibratory bed dryer. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v.10, n.3, p. 191-197, 2017.

OBATOLU, V. A. Nutrient and sensory qualities of extruded malted or unmalted millet/soybean mixture. **Food Chemistry**, v.76, n.2, p.129-133, 2002.

OBADINA, A. O.; ISHOLA, I. O.; ADEKOYA, I. O.; SOARES, A. G.; CARVALHO, C. W. P. de; BARBOZA, H. T. Nutritional and physico-chemical properties of flour from native and roasted whole grain pearl millet (*Pennisetum glaucum* [L.] R. Br.). **Journal of Cereal Science**, v.70 , n.1, p.247-252, 2016.

OETTERER, M.; REGITANO-D'ACRE, M. A. B.; SPOTO, M. H. F. **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos**. Barueri: Malone, 2006. 612 p.

OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; SMANIOTTO, T. A. S.; CAMPOS, R. C. Isotermas e calor isotérico das sementes de algodão com línter e sem línter. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.15, n.3, p.283-292, 2013.

OLIVEIRA, E. F.; RECHE, A. M.; SILVA, M. A. P.; AMARO, A. C. E.; BIAGIONNI, M. A. M.; FERREIRA, G. Degradation of reserves of crambe seed (*Crambe abyssinica*) during germination. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n.11, p.920-924, 2016.

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 & Technology**, v.45, n.1, p.546-554, 2010.

OKPALA, L. C.; GIBSON-UMEH, G. I. Physicochemical properties of mango seed flour. **Nigerian Food Journal**, v.31, n.1, p.23-27, 2013.

ONUEGBU, N. C.; NWORAH, K. O.; ESSIEN, P. E.; NWOSU, J. N.; OJUKWU, M. Proximate, functional and anti-nutritional properties of boiled ukpo seed (*Mucuna flagellipes*) flour. **Nigerian Food Journal**, v.31, n.1, p.1-5, 2013.

PARK, K. J. B.; PARK, K. J.; CORNEJO, F. E. P.; FABBRO, I. M. D. Considerações termodinâmicas das isotermas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.10, n.1, p.83-94, 2008.

PAUCAR-MENACHO, L. M.; MARTÍNEZ-VILLALUENGA, C. B.; DUEÑAS, M.; FRIAS, J.; PEÑAS, E. Optimization of germination time and temperature to maximize the content of bioactive compounds and the antioxidant activity of purple corn (*Zea mays* L.) by response surface methodology. **LWT - Food Science and Technology**, v.76, n.1, p.236-244, 2017.

PROMMAS, R.; RATTANADECHO, P.; CHOLASEUK, D. Energy and exergy analysis in drying process of porous media using hot air. **International Communication Heat and Mass Transfer**, v.37, n.1, p.372-378, 2010.

QIN-LU, L.; HUA-XI, X.; XIANG-JIN, F.; WEI, T.; LI-HUI, L.; FENG-XIANG, Y. Physico-chemical properties of flour, starch, and modified starch of two rice varieties. **Agricultural Sciences in China**, v.10, n.6, p.960-968, 2011.

QUE, F.; MAO, L.; FANG, X.; WU, T. Comparison of hot air-drying and freeze-drying on the physicochemical properties and antioxidant activities of pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.) flours. **International Journal of Food Science and Technology**, v.43, n.7, p.195-1201, 2008.

REIS, D. S.; FIGUEIREDO NETO, A. F.; FERRAZ, A. V.; FREITAS, S. T. Produção e estabilidade de conservação de farinha de acerola desidratada em diferentes temperaturas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.20, n.1, p.1-7, 2017.

REZIG, L.; CHOUAIBI, M.; MSAADA, K.; HAMDI, S. Chemical composition and profile characterization of pumpkin (*Cucurbita maxima*) seed oil. **Industrial Plant and Product Cultivation**, v.37, n.1, p.82-87, 2012.

ROBERTS, J. S.; KIDD, D. R.; ZAKOUR, O. P.; Drying kinetics of grape seeds. **Journal of Food Engineering**, v.89, n.4, p.460-465, 2008.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. São Paulo: Blucher, 2007. 184 p.

SAAVEDRA, J.; CORDOVA, C.; NAVARRO, R.; DÍAZ-CALDERÓN, P.; FUENTEALBA, C.; ASTUDILLO-CASTRO C.; TOLEDO, L.; ENRIONE, J.; GALVEZ, L. Industrial avocado waste: Functional compounds preservation by convective drying process. **Journal of Food Engineering**, v.198, n.1, p.81-90, 2017.

SACILIK, K. Effect of drying methods on thin-layer drying characteristics of hull-less seed pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). **Journal of Food Engineering**, v.79, n.1, p.23-30, 2007.

SANTOS, F. S. A.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade de farinhas de mandioca temperadas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.6, n.2, p.149-155, 2004.

SANTOS, D. da C.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; OLIVEIRA, E. N. A. Cinética de secagem de farinha de grãos residuais de urucum. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.2, p. 223-231, 2013.

SAVLAK, N.; TURKER, B.; YESILKANAT, N. Effects of particle size distribution on some physical, chemical and functional properties of unripe banana flour. **Food Chemistry**, v.213, n.1, p.180-186, 2016.

SIDDIQ, M.; RAVI, R.; HARTE, J. B.; DOLAN, K. D. Physical and functional characteristics of selected dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flours. **LWT - Food Science and Technology**, v.43, n.1, p.232-237, 2010.

SILVA, A. S.; ALMEIDA, F. A. C.; LIMA, E. E.; SILVA, F. L. H.; GOMES, J.P. Cinéticas de secado de hoja y tallo de cilantro (*Coriandrum sativum*). **Ciencia y Tecnología Alimentaria**, v.6, n.1, p.13-19, 2008.

SILVA, A. S.; MELO, K. S.; ALVES, N. M. C.; FERNADES, T. K. S.; FARIAS, P. A. Cinética de secagem em camada fina da banana maçã em secador de leito fixo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.11, n.2, p.129-136, 2009.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016.

SILVA, L. H.; COSTA, P. F. P.; NOMIYAMA, G. W.; SOUZA, I. P.; CHANG, Y. K. Caracterização físico-química e tecnológica da farinha de soja integral fermentada com *Aspergillus oryzae*. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.15, n.4, p.300-306, 2012.

SILVA, L. M. M.; SOUSA, F. C.; SOUSA, E. P.; MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M. Modelos de predição da cinética de secagem dos grãos de guandu. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.17, n.4, p.310-318, 2014.

SMANIOTTO, T. A. S.; RESENDE, O.; SOUSA, K. A.; OLIVEIRA, D. E. C.; CAMPOS, R. C. Drying kinetics of sunflower grains. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, n.3, p.203-208, 2017.

SORMOLI, M. E.; LANGRISH, T. A. G. Moisture sorption isotherms and net isosteric heat of sorption for spray-dried pure orange juice powder. **LWT - Food Science and Technology**, v.62, n.1, p.875-882, 2015.

SOUSA, K. A.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H.; COSTA, L. M. Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.4, p. 883-892, 2011.

STATSOFT. **STATISTICA FOR WINDOW - Computer programa manual**. Versão 7.0  
Tulsa: Statsoft Inc., 2007.

TARIGAN, E.; PRATEEPCHAIKUL, G.; YAMSAENGSUNG, R.; SIRICHOTE, A.; TEKASAKUL, P. Drying characteristics of unshelled kernels of candle nuts. **Journal of Food Engineering**, v.79, n.3, p. 828-833, 2007.



TEIXEIRA, L. P.; ANDRADE, E. T.; FIGUEIRA, V. G. Determinação do equilíbrio higroscópico dos grãos de abóbora (*Cucurbita moschata*). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 43., 2014. **Anais...** SBEA: Campo Grande, 2014.

THIYAJAI, P.; SAETANG, P.; KETTAWAN, A.; CHAROENKIATKUL, S.; SRICHAMNONG, W. Promising industrial flour processing and household applications of parboiled germinated brown rice (Khao dok mali 105). **Food Science and Technology**, v.73, n.1, p.406-411, 2016.

TIAN, B.; XIE, B.; SHI, J.; WUA, J.; CAI, Y.; XU, T.; XUE, S.; DENG, Q. Physicochemical changes of oat seeds during germination. **Food Chemistry**, v.119, n.3, p.1195-1200, 2010.

TOHIDIA, M.; SADEGHI, M.; TORKI-HARCHEGANI, M. Energy and quality aspects for fixed deep bed drying of paddy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.70, n.1, p. 519-528, 2017.

TORBICA, A.; HADNADEV, M.; HADNADEV, T. D. Rice and buckwheat flour characterisation and its relation to cookie quality. **Food Research International**, v.48, n.1, p.277-283, 2012.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Aplicação da secagem por atomização para a obtenção de produtos funcionais com alto valor agregado a partir do açaí. **Inclusão Social**, v.6, n.2, p.70-76, 2013.

TORRES, M. D.; SEIJO, J. Water sorption behaviour of by-products from the rice industry. **Industrial Crops and Products**, v.86, n.1, p.273-278, 2016.

TRAORÉ, T.; MOUQUET, C.; ICARD-VERNIÈRE, C.; TRAORÉ, A. S.; TRÈCHE, S. Changes in nutrient composition, phytate and cyanide contents and  $\alpha$ -amylase activity during cereal malting in small production units in Ouagadougou (Burkina Faso). **Food Chemistry**, v.88, n.1, p.105-114, 2004.

UWAEGBUTE, A. C.; IROEGBU, C. U.; EKE, O. Chemical and sensory evaluation of germinated cowpeas (*Vigna unguiculata*) and their products. **Food Chemistry**, v.68, n.2, p.141-146, 2000.

VELÁZQUEZ-GUTIÉRREZ, S. K.; FIGUEIRA, A. C.; RODRÍGUEZ-HUEZO, M. E.; ROMÁN-GUERRERO, A.; CARRILLO-NAVASE, H.; PÉREZ-ALONSO, C. Sorption isotherms, thermodynamic properties and glass transition temperature of mucilage extracted from chia seeds (*Salvia hispanica* L.). **Carbohydrate Polymers**, v.121, n.1, p.411-419, 2015.

VILLARINO, C. B. J.; JAYASENA, V.; COOREY, R.; CHAKRABARTI-BELL, S.; JOHNSON, S. K. The effects of Australian sweet lupin (ASL) variety on physical properties of flours and breads. **LWT - Food Science and Technology**, v.60, n.1, p.435-443, 2015.

WANG, P.; LIU, J. C., ZHAO, Q. Y. Studies on nutrient composition and utilization of pumpkin fruit. **Journal of Inner Mongolia Agricultural University**, v.23, n.3, p.52-54, 2002.

WANI, I. A.; SOGI, D. S.; WANI, A. A.; GILL, B. S. Physico-chemical and functional properties of flours from Indian kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. **LWT - Food Science and Technology**, v.53, n.1, p.278-284, 2013.

WATERHOUSE, A. Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. **America Journal of Enology and Viticulture**, p.3-5, 2006.

YAVUZA, D.; YAVUZA, N.; SEYMENB, M.; TÜRKMENBA, O. Evapotranspiration, crop coefficient and seed yield of drip irrigated pumpkin under semi-arid conditions. **Scientia Horticulturae**, v.197, n.1, p.33-40, 2015.

ZIELINSKA, M. MICHALSKA, A. Microwave-assisted drying of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruits: Drying kinetics, polyphenols, anthocyanins, antioxidant capacity, colour and texture. **Food Chemistry**, v.212, n.1, p.671-680, 2016.

ZHANG, F.; JIANG, Z. M.; ZHANG, E. M. Pumpkin function properties and application in food industry. **Science and Technology of Food Industry**, v.21, n.1, p.62-64, 2000.

ZHAO, Y.; JIANG, Y.; ZHENG, B.; ZHUANG, W.; ZHENG, Y.; TIAN, Y. Influence of microwave vacuum drying on glass transition temperature, gelatinization temperature, physical and chemical qualities of lotus seeds. **Food Chemistry**, v.228, n.1, p.167-176, 2017.