



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS**

**CINTIELEY DOS SANTOS NASCIMENTO**

**Obtenção de Abriçó (*Mammea americana L.*) desidratado  
utilizando Secagem por *Refractance Window***

**BELÉM**

**2016**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS**

**CINTIELEY DOS SANTOS NASCIMENTO**

**Obtenção de Abriçó (*Mammea americana L.*) desidratado  
utilizando Secagem por *Refractance Window***

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Pará para a obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Luíza Helena Meller da Silva.

**BELÉM**

**2016**

# **Obtenção de Abricó (*Mammea americana L.*) desidratado utilizando Secagem por *Refractance Window***

**Por**

**CINTIELEY DOS SANTOS NASCIMENTO**

DATA: \_\_\_\_\_

CONCEITO: \_\_\_\_\_

## **BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr<sup>a</sup>. Luiza H. Meller da Silva  
(PPGCTA/ITEC/UFPA – Orientadora)

---

Prof. Dr. Antonio Manoel da Cruz Rodrigues  
(PPGCTA/ITEC/UFPA – Co-orientador)

---

Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena  
(PPGCTA/ITEC/UFPA – Membro interno)

---

Prof. Dr. Eder Augusto Furtado Araujo  
(FEA/ITEC/UFPA – Membro Externo)

---

Prof. Dr. João Borges Laurindo  
(PPGEA/UFSC – Membro Externo - Suplente)

**BELÉM**  
**2016**

*“A mente que se abre a uma nova ideia jamais  
voltará ao seu tamanho original.”  
Albert Einstein*

## AGRADECIMENTOS

Tantas são as pessoas que fazem parte de nossa jornada e colaboram conosco para a obtenção de conquistas como essa, mas pouco é o espaço físico para poder agradecê-las. Mesmo que eu não consiga citar o nome de todas as pessoas importantes, saibam que agradeço profundamente a contribuição de cada uma. Por não ser possível citar todas, destaco:

Gostaria primeiramente de agradecer a Deus, porque sei que sem ele nada seria e sem ele não venceria os obstáculos existentes.

Agradecer a minha família (Valdeci, Cleide, Christielley e Wesley) por torcerem por mim, em especial as orações de minha mãe que se fizeram parte fundamental de minha caminhada.

Ao meu esposo Francisco Antonio pelo apoio, companheirismo e compreensão, sei que não foi fácil e a minha fonte de energia também Sophia Isis.

A minha orientadora professora Luiza Muller por ter me proporcionado a oportunidade de trabalhar com sua equipe, pela excelente orientação, pela paciência e por todas as oportunidades proporcionadas de crescimento profissional.

Ao Professor Antonio Rodrigues pelo apoio e ajuda durante a execução do trabalho, apoio este primordial para conclusão do mesmo.

Aos membros da banca, por aceitarem avaliar este trabalho e por suas sugestões.

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

À todos que colaboraram direta ou indiretamente na resolução deste trabalho.

Aos meus amigos de turma e da família LAMEFI (Laboratório de Medidas Físicas), que de uma forma ou de outra me ajudaram, sempre me dando forças, muito obrigada a todos vocês pela amizade, companheirismo, auxílio e pelos bons momentos durante esses anos! Em especial, gostaria de agradecer à Carina Lemos, Márlia Pires, Rebeca Costa, Kharen Mendes, Samiria Santos, Rafaela Cristina, Raiane Cardoso, Aline Nakata, Aline Ozana, Aline Enir, Jardson Lima, Marcus Vinicius, Jean Aquino, pela amizade que tenho certeza que permanecerá, pelas palavras de apoio nos momentos difíceis e pelas contribuições experimentais e claro por me fazerem rir muuuuito. Vocês foram fundamentais.

## RESUMO

NASCIMENTO, Cintieley dos Santos, **Obtenção de Abricó (*Mammea americana L.*) desidratado utilizando Secagem por *Refractance Window***, 2016, 71f, Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Pará, Belém.

O abricó (*Mammea americana L.*), é um fruto bastante cultivado e apreciado nas regiões de clima tropicais, sendo consumido principalmente in natura. A produção de alimentos desidratados (em pó, flocos ou filmes), além de ser uma alternativa de processamento para agregar valor a produtos in natura, pode ser usada para desenvolver novos produtos e ingredientes convenientes para o uso doméstico e industrial. O método de secagem por *Refractance Window* (RW) é utilizado para obtenção de filmes, flocos e pós-alimentícios e pode ser uma alternativa aos métodos comercialmente aplicados (atomização, liofilização e secagem em tambor) na produção de abricó desidratado. Este trabalho teve por objetivo viabilizar a obtenção de um produto desidratado a partir da polpa de abricó, através do processo de RW. A secagem por RW foi realizada com a temperatura da água de 70 °C. O tempo de secagem da polpa no RW foi de 50 minutos. As dimensões do espalhamento da polpa de abricó foram de 2x5x20mm. Através de ensaios reológicos pode-se verificar que a viscosidade aparente do produto tendeu a ficar constante, indicando um comportamento newtoniano para a pasta. Dez modelos matemáticos, foram ajustados aos dados experimentais da cinética de secagem, sendo o modelo de Page o que melhor representou o processo. A taxa de secagem da pasta de abricó apresentou comportamento decrescente. O teor de carotenoides da polpa de abricó foi de  $161,34 \pm 0,40$  bs e do produto desidratado  $103,53 \pm 0,65$  bs ( $\mu\text{g}/100\text{g}$  de  $\beta$ -caroteno), podendo também o mesmo ser considerado fonte de pró-vitamina A, por ser fonte de  $\beta$ -caroteno. Os filmes apresentaram boa resistência à tensão e alongação na ruptura e o ISA (Índice de Solubilidade em água) de  $32,73 \pm 0,67$  (%), onde para os resultados de cor, o produto manteve a tendência ao tom amarelo semelhante ao fruto.

**Palavras-chave:** Abricó, Secagem, *Refractance Window*, Produto desidratado.

## ABSTRACT

NASCIMENTO, Cintieley dos Santos, **Obtaining dehydrated apricot (*American Mammea L.*) using Refractance Window Drying**, 2016, 71f, Thesis (Master) - Graduate Program in Food Science and Technology. Federal University of Pará, Belém.

Apricot (*American Mammea L.*) is a fruit very cultivated and appreciated in the tropical climates areas, being consumed mainly in natura. The production of dehydrated foods (powder, flakes or films), besides being a processing alternative to add value to fresh products, it can be used to develop new products and convenient ingredients for domestic and industrial use. The drying method by Refractance Window (RW) is used to obtain films, flakes and food powders and can be an alternative to the commercially applied methods (spray, freeze-drying and drum-drying) to produce dried apricot. This study aimed to obtain a dehydrated product from apricot pulp, through the RW process. The drying by RW was performed with the temperature of 70 °C. The drying time of the pulp in the RW was 50 minutes. The dimensions of apricot pulp spreading was 2x5x20mm. Through rheological tests it can be seen that the apparent viscosity of the product tended to be constant, indicating Newtonian behavior for the folder. Ten mathematical models were fitted to the experimental data of drying kinetics, and the Page model which best represented the process. The drying rate of apricot paste showed decreasing behavior. The carotenoid content of apricot pulp was  $161.34 \pm 0.40$  bs and product dehydrated  $103.53 \pm 0.65$  bs (g / 100 g of  $\beta$ -carotene), and can also be considered the same source of pro-vitamin A, being a source of  $\beta$ -carotene. The films had good tensile strength and elongation at break and ISA (Solubility Index in water)  $32.73 \pm 0.67$  (%), where for color results, the product maintained its tendency to yellow color similar to fruit.

**Key-words:** Apricot, Drying, Refractance Window, dehydrated product.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Frutos de Abri�co (Mammea Americana L.).....	15
<b>Figura 2.</b> Curvas t�picas de secagem, taxa de secagem e temperatura do produto.....	19
<b>Figura 3.</b> Esquema do <i>Refractance Window</i> (adaptada de CAPARINO <i>et al.</i> , 2012) .....	23
<b>Figura 4.</b> Sistema de coordenadas de cores CIALAB .....	33
<b>Figura 5.</b> Rela�o entre viscosidade aparente e taxa de deforma�o para a pasta de abri�co...37	
<b>Figura 6.</b> Ajuste do modelo de Herschel-Bulkley a pasta de abri�co nas temperaturas de 25�C e 70�C .....	38
<b>Figura 7.</b> Valores da cin�tica de secagem da pasta de Abri�co, experimental e estimado pelo modelo de Page.....	40
<b>Figura 8.</b> Taxas de secagem da polpa de abri�co. ....	42
<b>Figura 9.</b> Microestrutura do produto obtido a 100 (A) e 500 vezes (B).....	49
<b>Figura 10.</b> Microestrutura do produto obtido a 1000 (C) e 2000 vezes (D).....	49
<b>Figura 11.</b> Microestrutura do produto obtido a 5000 (E). ....	50



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Modelos matemáticos teóricos considerados durante a cinética de secagem de pasta de Abricó. ....	28
<b>Tabela 2.</b> Composição Físico-química da polpa de Abricó.....	35
<b>Tabela 3.</b> Caracterização da pasta elaborada.....	36
<b>Tabela 4.</b> Parâmetros dos modelos ajustados aos dados experimentais da pasta de abricó.....	36
<b>Tabela 5.</b> Valores dos parâmetros e dos coeficientes de determinação ( $R^2$ , $\chi^2$ e RMSE) dos modelos estudados.....	40
<b>Tabela 6.</b> Parâmetros de cor CIELab*, croma, ângulo hue e $\Delta E^*$ da polpa de abricó e do produto desidratado. ....	47

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVO</b> .....	<b>14</b>
2.1. OBJETIVO GERAL .....	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
3.1. ABRICÓ.....	15
3.2. COMPOSTOS BIOATIVOS .....	15
<b>3.2.1. Vitamina C</b> .....	<b>16</b>
<b>3.2.2. Carotenóides</b> .....	<b>16</b>
<b>3.2.3. Capacidade antioxidante</b> .....	<b>17</b>
3.3. SECAGEM.....	18
<b>3.3.1. Secagem de pastas</b> .....	<b>21</b>
<b>3.3.2. Secagem por <i>Refractance Window</i></b> .....	<b>22</b>
3.4. CINÉTICA DE SECAGEM E MODELAGEM MATEMÁTICA .....	24
3.5. PROPRIEDADES REOLÓGICAS.....	24
3.6. PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS .....	25
<b>3.6.1. Índice de Solubilidade em água – ISA</b> .....	<b>25</b>
<b>3.6.2. Índice de Absorção de Água – IAA</b> .....	<b>25</b>
<b>3.6.3. Higroscopicidade do produto</b> .....	<b>26</b>
3.7. MORFOLOGIA DAS PARTÍCULAS .....	26
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>27</b>
4.1. MATÉRIA-PRIMA .....	27
4.2. PROCESSO DE SECAGEM .....	28
4.3. DETERMINAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS .....	29
<b>4.3.1. Vitamina C</b> .....	<b>29</b>

<b>4.3.2. Carotenoides totais.....</b>	<b>30</b>
<b>4.3.3. Capacidade antioxidante .....</b>	<b>30</b>
4.4. PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS .....	30
4.4.1. ISA (Índice de Solubilidade em Água) e IAA (Índice de Absorção de Água).....	30
4.4.2. Higroscopicidade.....	31
4.5. PROPRIEDADES REOLÓGICAS.....	31
4.6. PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	32
4.7. ANÁLISE DE COR .....	33
4.8. MORFOLOGIA DAS PARTÍCULAS DO PRODUTO DESIDRATADO .....	34
4.9. ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	34
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>35</b>
5.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE ABRICÓ.....	35
5.2. CARACTERIZAÇÃO DA PASTA.....	35
5.3. PROPRIEDADES REOLÓGICAS.....	36
5.4. CINÉTICA DE SECAGEM E MODELAGEM MATEMÁTICA .....	39
5.5. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO PRODUTO DESIDRATADO .....	42
5.6. COMPOSTOS BIOATIVOS DA POLPA DE ABRICÓ E DO PRODUTO DESIDRATADO.....	43
5.7. PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	45
5.8. PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS .....	46
<b>5.8.1. ISA (Índice de Solubilidade em Água) e IAA (Índice de Absorção de Água) .....</b>	<b>46</b>
<b>5.8.2. Higroscopicidade .....</b>	<b>46</b>
5.9. ANÁLISE DE COR .....	47
5.10. MORFOLOGIA DAS PARTÍCULAS .....	49
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>52</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>53</b>

## INTRODUÇÃO

Devido a sua grande extensão territorial é possível encontrar no Brasil áreas com diferentes climas e ecossistemas, que vão desde o tropical úmido, passando pelo semi-árido até climas temperados, isso possibilita a produção de uma vasta variedade de frutas. O Brasil tem um apelo em ascensão no mercado internacional de frutas, que caracteriza o selo “Brazilian Fruit”, que vem sendo cada vez mais utilizado em campanhas nos mercados internacionais, mas ainda há muito que crescer em termo de exportação de frutas (MACHADO, 2010; ANGELO, 2008).

Segundo a Confederação Nacional da Agricultura - CNA (2016), o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas, com uma produção que superou os 40 milhões de toneladas no ano de 2015. No entanto, o país tem exportado muito pouco, sendo o 15º no ranking das exportações mundiais de frutas (ABFRUT-IBRAF, 2015).

A Região Norte apresenta uma grande diversidade de espécies frutíferas nativas e/ou exóticas de excelentes características nutricionais e comerciais, cuja produção não se limita apenas ao extrativismo. Algumas espécies já alcançam posição de destaque na fruticultura tropical, tanto em nível de mercado externo como em nível mercado nacional, quer seja para o consumo *in natura* ou na elaboração de produtos alimentícios processados, tais como: geleias, sorvetes, sucos, néctar, doces (FERREIRA e RIBEIRO, 2006; ALVES et al., 2000; CANUTO et al., 2000; RODRIGUES et al., 2016).

No entanto, as perdas pós colheita no Brasil atingem altas proporções (acima de 30%). Elas decorrem, principalmente, devido as não conformidades no acondicionamento, transporte, estocagem e conservação das matérias primas, que antecedem a comercialização *in natura* ou a industrialização.

A secagem de frutas é empregada para melhorar a estabilidade através da redução da atividade de água, de modo a minimizar reações químicas e enzimáticas que ocorrem durante a armazenamento dessa matriz, assim como agregar valor e diminuir os desperdícios pós-colheita (MADAMBA, 2008). Frutas desidratadas são utilizadas principalmente em sobremesa, produtos de confeitaria, panificação, cremes e recheios. Em países onde frutas frescas não estão disponíveis durante certa época do ano, as frutas desidratadas são amplamente usadas. Estas possibilitam a elaboração de novos produtos tais como: refresco de fruta natural, barras e/ou biscoitos energéticos, complementos alimentares, os quais poderão competir com os produtos artificiais, que apresentam compostos prejudiciais à saúde do consumidor.

Os métodos mais empregados na desidratação de polpa de frutas são a atomização, a liofilização, os leitos fluidizados e a secagem em tambor. Em se tratando de alimentos ricos em compostos bioativos é de grande interesse para indústria e principalmente, para o consumidor, que esses compostos e características sensoriais, como: aparência, sabor e cor sejam minimamente afetadas pelo processo de desidratação. Assim a escolha de um método de secagem adequado pode ser a chave para o sucesso da operação.

O método de secagem de suspensões, pastas e polpa de frutas por *Refractance Window* (RW) tem sido empregado para obtenção de filmes, flocos e pós alimentícios. Este método tem-se mostrado uma boa alternativa aos métodos anteriormente descritos, por fornecer produtos de qualidade similar, a custos significativamente inferiores.

O *Refractance Window* é um processo de secagem que utiliza energia térmica, a partir da água quente, em temperaturas muito próximas a da ebulição, para secar uma fina camada de material, através da condução, da convecção e da radiação infravermelha (OCHOA-MARTÍNEZ, 2012).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi realizar a secagem da polpa de abricó, através do processo de *Refractance Window*. Para tal fim, o trabalho é composto de estudos experimentais da cinética de secagem da polpa de abricó e ajuste de modelos matemáticos, assim como, da caracterização das propriedades estruturais da polpa e do produto desidratado obtido (viscosidade, atividade de água, solubilidade, compostos bioativos, carotenoides totais, capacidade antioxidante assim como suas propriedades tecnológicas e de microestrutura).

## 1. OBJETIVO

### 2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste projeto foi a obtenção de um produto desidratado através do processo de *Refractance Window*, com características tecnológicas adequadas para utilização como alimento e/ou ingrediente;

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a polpa de abricó e a pasta obtida quanto às análises físico-químicas;
- Analisar as propriedades reológicas da pasta de abricó;
- Estudar a cinética de secagem da pasta de abricó;
- Caracterizar os compostos bioativos e capacidade antioxidante da polpa de abricó e do produto desidratado;
- Caracteriza e avaliar a influencia do processo de secagem nas Propriedades Mecânicas (tensão de ruptura e porcentagem de alongação), propriedades tecnológicas (índice de solubilidade em água, índice de absorção de água, higroscopicidade), cor e nas caraterísticas morfológicas das partículas do produto desidratado;

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. ABRICÓ

A região Amazônica possui uma grande quantidade de frutas com aromas e sabores diversificados, que apresentam potencialidade econômica e uma perspectiva de valorização importante para a região. Nesse contexto, destaca-se o abricó (*Mammea americana* L.) (Figura 1), que por se tratar de uma fruta silvestre, dados relacionados à sua produção e comercialização são escassos (BRAGA et al., 2010).

Segundo Ferreira e Ribeiro (2006), o fruto tem como nome popular: abricó, abricó-do-pará, castanha-de-macaco, abricó-de-macaco, cuia-de-macaco. "Mamey", "mamey dominicano" (espanhol), "mamme", "mammee-apple" (inglês), "abricot de Saint Domingue" (francês), e pertencente à família *Clusiaceae* (antiga *Guttiferae*).

Os frutos de abricó são drupas globosas e volumosas, de 12-18 cm de diâmetro, com peso de até 1kg, casca rugosa, coriáceo-flexível de cor pardo-alaranjada, mesocarpo (parte comestível) constituído de uma polpa compacta, firme, fibrosa, cor de abóbora, sementes ovaladas, plano-convexas, com 6-8 cm de comprimento, imersas na polpa e envolvidas pelo endocarpo rugoso (CAVALCANTE, 1991).



**Figura 1.** Frutos de Abricó (*Mammea Americana* L.)

**Fonte:** <http://masspictures.net/mammee-apple-mammea-americana/>

#### 3.2. COMPOSTOS BIOATIVOS

As frutas e hortaliças além de fornecerem componentes importantes para o desempenho de funções básicas do organismo, como o ácido ascórbico, o  $\beta$ -caroteno e o ácido fólico, são fontes de compostos bioativos que apresentam em sua composição substâncias

com atividade antioxidante, a exemplo dos carotenóides, vitamina C e flavonóides, que as caracterizam como alimentos funcionais (LIMA et al., 2000; ARTS; HOLLMAN, 2005).

### 3.2.1. Vitamina C

O ácido ascórbico, também denominado vitamina C é uma vitamina hidrossolúvel e encontra-se nos frutos, principalmente os pertencentes à família dos cítricos, tais como: laranjas, limões, limas e tangerinas, sendo, todavia também abundante nos vegetais verdes. Este composto é um antioxidante, facilmente oxidável e cujas ligações podem ser quebradas pelo oxigênio, por bases alcalinas e temperaturas elevadas (AGUS; VERA e GOLDE, 1999; GONZÁLEZ, 2005; WILSON, 2005; IQBAL, et al., 2004).

Os seres humanos não são capazes de sintetizar a vitamina C. Isso ocorre devido à ausência da enzima L-glucolactona oxidase no corpo humano. Sendo assim, não podem transformar a glicose do sangue em ácido ascórbico, fazendo com que tenhamos que ingerir por fontes externas este nutriente (Levine et al., 1999; Aranha et al., 2000; Rosa et al., 2007).

Além dos benefícios da vitamina C, como antioxidante, ela também exerce importante ação com respeito a disponibilidade de minerais como o ferro, indicando que o consumo de alimentos com alto teor de vitamina C, aliado a substâncias como a cisteína, aumentam a disponibilidade de ferro em alimentos ricos neste mineral (FANTINI et al., 2008).

### 3.2.2. Carotenóides

Dentre os compostos bioativos, os carotenóides, além de serem corantes naturais dos alimentos, possuem também atividades biológicas (SENTANIN; AMAYA, 2007). Constituem um dos mais importantes grupos de pigmentos naturais devido à larga distribuição, diversidade estrutural e inúmeras funções. São responsáveis pelas cores laranja, amarela e vermelha das frutas, hortaliças, flores, algas, bactérias, fungos, leveduras e animais, que apesar de não sintetizarem tais moléculas, podem obtê-las a partir do consumo de alimentos de origem vegetal (RIBEIRO; SERAVALLI, 2004).

Alguns carotenóides como o  $\beta$ -caroteno, o  $\alpha$ -caroteno, o licopeno, a luteína e a zeaxantina, também desempenham importante papel nutricional como precursores de vitamina A, além de outras ações como: proteção contra alguns tipos de câncer, doenças cardiovasculares, cataratas e melhoria do sistema imunológico (FILHO, 2007).



O  $\beta$ -caroteno é considerado um antioxidante, pois é capaz de reduzir significativamente os efeitos causados por espécies reativas, como aquelas de oxigênio e nitrogênio, que são formadas normalmente no organismo (INSTITUTE OF MEDICINE, 2000).

A atividade antioxidante consiste na habilidade para exterminar o oxigênio *singlete*, que é extremamente reativo nos radicais livres. O  $\alpha$ -caroteno e a  $\beta$ -criptoxantina também são considerados antioxidantes e, seus efeitos benéficos à saúde estão relacionados a esta propriedade. No organismo humano estes são precursores de vitamina A, sendo o  $\beta$ -caroteno, devido a sua estrutura química, o mais eficiente (AMANCIO et al., 2012).

Além de atuar em prevenção de doenças crônicas não transmissíveis, os carotenóides com atividade pró-vitáminica podem combater a hipovitaminose A. A carência dessa vitamina acarreta xerofthalmia, cegueira e até mesmo a morte, em milhares de crianças no mundo, e constitui um dos principais problemas nutricionais de populações de países em desenvolvimento, incluindo o Brasil (AMBRÓSIO et al., 2006).

### 3.2.3. Capacidade antioxidante

Os antioxidantes têm se apresentado como uma maneira alternativa de prevenir a deterioração oxidativa dos alimentos e, também, minimizar os danos oxidativos nos seres vivos. Devido ao fato do emprego de antioxidantes sintéticos na indústria de alimentos estarem sendo alvo frequente de questionamentos quanto à inocuidade, havendo a possibilidade desses antioxidantes apresentarem alguma toxicidade, várias pesquisas têm sido desenvolvidas de modo a buscar compostos naturais que também possuam esta propriedade funcional (DEL RÉ, JORGE, 2012).

Esses antioxidantes absorvem radicais livres e inibem o início da reação em cadeia ou interrompem a propagação de reações em cadeia das reações oxidativas promovidas pelos radicais (PODSEDEK, 2007).

Diversos estudos apontam que existe uma correlação entre a concentração de compostos fenólicos e a capacidade antioxidante observada em diferentes matrizes alimentícias (MANACH et al., 2004; ALVES, et al., 2007; ZULETA et al., 2007). O número e a configuração de grupamentos hidroxila doadores de hidrogênio, assim como as duplas conjugadas, parecem ser os principais fatores estruturais a contribuir para a capacidade

antioxidante destes compostos. Nas antocianinas a capacidade antioxidante ocorre também devido à deficiência de elétrons do núcleo flavano (WADA et al., 2007).

Os métodos químicos para determinação da atividade antioxidante estão divididos, quanto à natureza da reação envolvida, em dois grupos principais: os que envolvem transferência de elétrons e os que envolvem transferência de átomos de hidrogênio. Os métodos que envolvem transferência de elétrons baseiam-se na redução do substrato por ação dos componentes antioxidante presentes na amostra, em que tal substrato apresenta comportamento espectral distinto no estado oxidado e reduzido (BECKER; NISSEN; SHIBSTED, 2004, HUANG; OU; PRIOR, 2005).

Dentre os métodos mais comumente realizados em laboratórios, o método ABTS apresenta algumas vantagens ao método do DPPH, pois é possível medir a atividade de compostos de natureza hidrofílica e lipofílica, enquanto o DPPH só pode dissolver-se em meio orgânico (MARTINEZ, 2009).

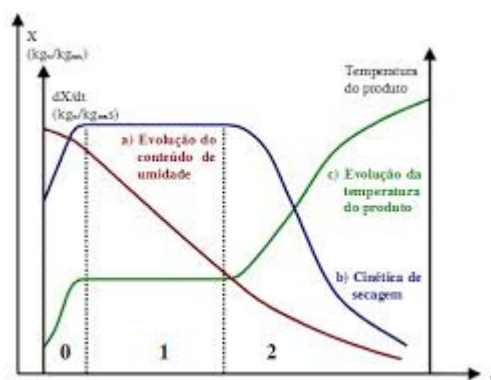
### 3.3. SECAGEM

A secagem ou desidratação de alimentos é um fenômeno complexo, envolvendo processos simultâneos de transferência de calor e massa (KARIM e HAWLADER, 2005; JANGAM; MUJUMDAR, 2010), e que consiste na eliminação de água por evaporação de modo a contribuir para a conservação de um produto. O processo de secagem tem como benefício direto a estabilização da atividade microbológica e a redução nas reações químicas e enzimáticas, contribuindo para a obtenção de um período mais longo de armazenamento. Outro benefício da secagem é a redução no peso dos produtos que tem como consequência direta a redução do custo de transporte, a facilidade de armazenamento durante todo o processo produtivo, assim como também a conservação de compostos nutricionais das matrizes (MADAMBA et al., 2008).

Frutas e vegetais têm características distintas de outras substâncias como: carne e pescado e que influenciam significativamente no seu comportamento durante a secagem e preservação. As frutas são geralmente caracterizadas pelo seu alto teor de umidade inicial, alta sensibilidade à temperatura (cor, sabor, textura, compostos nutricionais termosensíveis) e retração do produto durante a secagem (KARIM e HAWLADER, 2005; KIRANOUDIS, *et al.*, 1997; MAROULIS, *et al.*, 1995).

De maneira geral, a secagem é uma operação na qual o calor é fornecido a um material que contém água, a fim de evaporizar certa água deste material, obtendo-se, portanto, um produto seco. Cabe também mencionar que a quantidade necessária de energia térmica para secar determinado produto, depende de fatores, tais como: vazão do ar de secagem, umidade inicial no produto, umidade final desejada, propriedades termofísicas da matriz, temperatura e umidade relativa do ar (KIRANOUDIS, *et al.*, 1997; KARIM e HAWLADER, 2005).

De acordo com os inúmeros trabalhos disponíveis na literatura científica, o processo de secagem, fundamentado na transferência de calor e de massa, pode ser dividido em três períodos ao longo do tempo, conforme apresentado na Figura 2 (KEEY, 1972; DAUDIN, 1983; PARK; YADO; BROD, 2001; BARBOSA CÁNOVAS e VEGA-MERCADO, 2000).



**Figura 2.** Curvas típicas de secagem, taxa de secagem e temperatura do produto.

**Fonte:** Park, Yado e Brod (2001)

A curva (a) representa a diminuição do teor de água do produto durante a secagem (umidade do produto em base seca, X), em relação à evolução do tempo de secagem (t). É a curva obtida pesando o produto durante a secagem em determinadas condições pré-estabelecidas (PARK; YADO; BROD, 2001).

A curva (b) representa a velocidade (taxa) de secagem do produto (variação da umidade do produto com o tempo (t),  $dX/dt$ ). Esta é a curva obtida diferenciando a curva (a) (PARK; YADO; BROD, 2001).

A curva (c) representa a variação da temperatura do produto durante a secagem, em relação à evolução do tempo t. Esta é a curva obtida medindo a temperatura do produto durante a secagem (PARK; YADO; BROD, 2001).

Os períodos podem ser analisados da seguinte maneira: O primeiro período representa o início da secagem. Nesse período ocorre uma elevação gradual da temperatura do produto e da pressão de vapor de água. Essas elevações têm prosseguimento até o ponto em que a

transferência de calor seja equivalente à transferência de massa (água). O segundo período de secagem, a remoção de umidade se dá à taxa constante porque a umidade interna do produto é transportada para a superfície na mesma velocidade com que ocorre a evaporação na superfície, ocorrendo enquanto houver quantidade de água suficiente para acompanhar a evaporação na superfície do produto (PARK; YADO; BROD, 2001). A quantificação da secagem neste período é feita pela quantificação da energia recebida pelo material que está sendo seco (BARBOSA-CÁNOVAS e VEGAMERCADO, 2000). Esta energia é igual à energia necessária para a vaporização da água removida durante a secagem. No terceiro período, a taxa de secagem é decrescente. A quantidade de água presente na superfície do produto é menor, reduzindo assim a transferência de massa. A transferência de calor não é compensada pela transferência de massa; o fator limitante nessa fase é a redução da migração de umidade do interior para a superfície do produto (BARBOSA-CÁNOVAS e VEGAMERCADO, 2000; PARK; YADO; BROD, 2001).

Na Figura 2, definida como primeiro período de secagem, a remoção. A temperatura do produto aumenta, até atingir a temperatura do ar de secagem. Quando o produto atinge a umidade de equilíbrio, em relação ao ar de secagem, o processo é encerrado (PARK; YADO; BROD, 2001).

A secagem é útil em diversas situações. Muitas vezes o processo de secagem é utilizado visando o fator econômico do frete e do manuseio; outras vezes o material é seco para depois sofrer um processo de reidratação em níveis desejáveis. A secagem é utilizada também para preservação, permitindo o transporte sem necessidade de refrigeração (KEEY, 1972; DAUDIN, 1983).

A escolha do método empregado dependerá de sua aplicação e das condições operacionais. Segundo Yamaguishi (2008), a escolha do método de secagem depende das características físicas (viscosidade, tamanho do sólido) e químicas (sensibilidade térmica, predisposição a oxidação), do alimento a ser desidratado.

Conforme Moyers e Baldwin (1999), o termo secagem, aplica-se à transferência de um líquido que está em um sólido úmido para uma fase gasosa não saturada. A secagem de materiais sólidos envolve o transporte simultâneo de calor e massa na forma:

- O calor é transferido do meio para o sólido a fim de evaporar o líquido, e
- A massa de líquido é transferida do sólido para o meio.

Os fatores que governam as taxas deste processo são os que governam a taxa de secagem. O calor necessário é suprido ao material por uma das formas: convecção, radiação e condução.

Os mecanismos internos e externos (temperatura, umidade, etc) de migração de água são a base para os estudos de como os sólidos secam. Os procedimentos formais, geralmente requerem um estudo fundamental das condições internas de fluxo de umidade. A estrutura de um sólido é quem determina o mecanismo interno de fluxo de umidade. Estes mecanismos são classificados em (FOUST et al., 1982):

- Mecanismo de difusão – em sólidos homogêneos e contínuos;
- Mecanismo de capilaridade – em sólidos porosos e granulares;
- Mecanismo de encolhimento e gradientes de pressão, e
- Mecanismo por gravidade.

Em geral, um destes mecanismos supracitados, predominam em um intervalo de secagem, mas não é comum encontrar diferentes mecanismos predominando em diferentes intervalos de tempo durante o processo de secagem (FOUST et al., 1982):

Para ampliação de quaisquer métodos de secagem, é importante conhecer os parâmetros ótimos do processo e garantir a obtenção de produtos secos com qualidade. Estes parâmetros vão desde a escolha da cultivar mais adequada, pré-tratamentos aplicados à matéria-prima, até otimização das condições de secagem (MOTA, 2005).

### **3.3.1. Secagem de pastas**

As suspensões podem ser definidas como misturas do tipo sólido-líquido formando um conjunto de partículas distribuídas de forma relativamente uniforme através de um meio líquido, sem que haja dissolução significativa do material particulado (PANDOFELLI, 2000).

As pastas alimentícias podem ser consideradas, do ponto de vista reológico, como um sistema coloidal, ou seja, um sistema sólido-líquido constituído de partículas microscópicas ou de partículas coloidais dispersas em um líquido (MARQUES, 2005).

Segundo Spitzner Neto et al (2002), a escolha do equipamento para a secagem de pastas depende tanto das propriedades e quantidade do material, quanto das propriedades que se deseja no produto seco. Devido a isto, são poucas as técnicas de secagem de pastas que possuem as qualidades necessárias para atender aos requisitos do mercado.

A tecnologia mais conhecida e utilizada no mundo para a secagem de pastas é o sistema *spray-dryer*. Contudo, a construção deste tipo de equipamento é bastante complexa e tem um custo de investimento elevado. Além disso, o *spray-dryer* não pode ser usado para secagem de substâncias muito consistentes (MARTINAZZO, et al., 2007).

No que se refere ao processo, é possível o controle de variáveis como a temperatura de entrada e saída do ar de secagem, a vazão do ar, a vazão de alimentação do produto e o tipo de atomização. Este tipo de secador permite também influenciar em importantes propriedades do produto seco, como o tamanho de partícula obtida, a higroscopicidade, a escoabilidade, a atividade de água e a compressibilidade (OLIVEIRA; PETROVICK, 2010).

A liofilização também é um processo que tem sido empregado para a obtenção de alimentos desidratados, com qualidade superior. Entretanto, a liofilização apresenta algumas desvantagens, como: o elevado custo operacional e os longos tempos de processo (CAPARINO, 2012). O alimento a ser desidratado deve estar congelado, e então é colocado num liofilizador (na câmara), que opera sob vácuo e remove a umidade por sublimação até uma umidade final menor que 3,0% (ORDEÑEZ, 2005; VODOVOLTZ; BOURLAND, 2002).

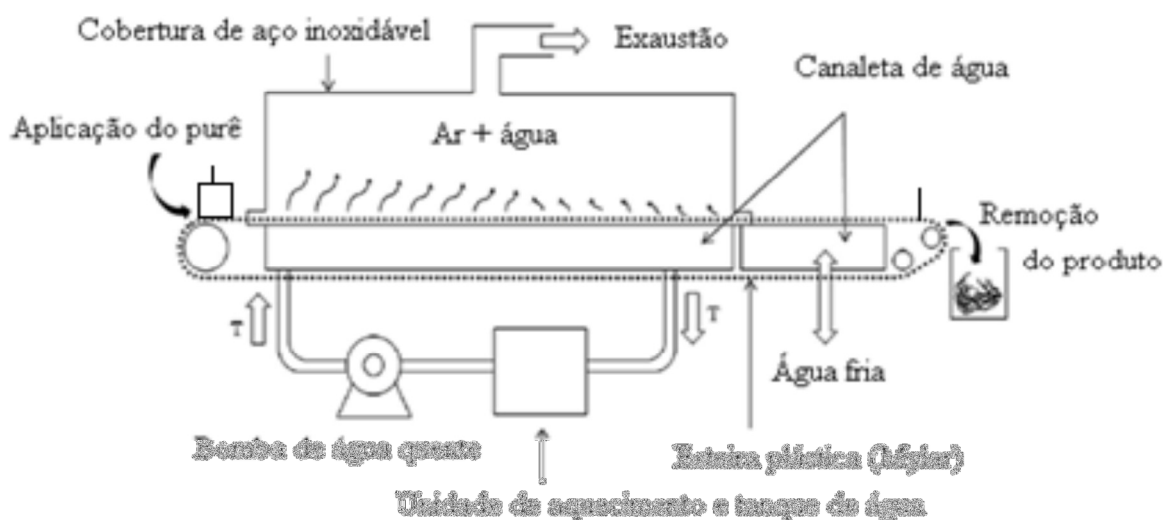
O leito de jorro pode ser uma alternativa bastante atrativa para a secagem de pastas, em pequena escala. Esta técnica, quando aplicada em escala laboratorial, possui vantagens, como: o baixo custo de montagem, operação e manutenção, demanda de pouco espaço físico e produto final com baixa umidade (3-10%), na forma de pó (PASSOS; MUJUMBDAR, 2000). A secagem em leito de jorro ocupa um lugar relevante nas operações envolvendo contato entre partículas sólidas e fluidos. Esta técnica, desenvolvida inicialmente para a secagem de produtos granulares, vem sendo aplicada também na secagem de cereais, recobrimento de partículas, cristalização, reações químicas e secagem de pastas e suspensões (MEDEIROS et al., 2002; NIAMNUY et al., 2008; KAHYAOGU; SAHIN; SUMNU, 2010).

### **3.3.2. Secagem por *Refractance Window***

O processo de secagem por *Refractance Window* foi patenteado por Magoon (1986) e desenvolvido pela MCD Technologies Incorporated, por ele fundada em 1989, em Tacoma, Washington, EUA (ABONYI et al., 2001). Este método de secagem mantém a integridade de alimentos e ingredientes no que diz respeito à cor, sabor e nutrientes e tem sido estudado

como um método potencialmente alternativo à liofilização, *spray drying* e secagem em tambor, para a produção de flocos, pós ou concentrados (EVRANUS, 2011).

O *Refractance Window* (RW) é um secador contínuo em que o produto a ser desidratado é espalhado sobre uma esteira plástica que flutua na superfície da água quente circulante em canaletas, como apresentado na Figura 3.



**Figura 3.** Esquema do *Refractance Window* (adaptada de CAPARINO *et al.*, 2012)

A tecnologia RW tem um amplo potencial, uma vez que o equipamento é simples e relativamente barato em comparação com outros secadores. Para a secagem de uma quantidade semelhante de produto, o custo de um equipamento de RW é cerca de um terço do custo de um liofilizador, e seu consumo de energia é inferior a metade (OCHOA-MARTÍNEZ *et al.*, 2012). Além de lidar com uma gama diversificada de produtos líquidos, o processo de *Refractance Window* se aplica a transformar polpa de frutas, legumes, ervas e outros produtos relacionados em pó, filmes comestíveis e concentrados com alto valor agregado (NINDO; TANG, 2007).

Esta tecnologia oferece vários benefícios quando aplicada a frutas e vegetais. Por exemplo, boa retenção nutricional de vitaminas, antioxidantes e sensoriais (cor e aroma) foram atribuídos a cenouras secas, morangos e abóbora (NINDO; TANG, 2007). A cor verde brilhante de purê de espargos permaneceu praticamente inalterada quando seco em secador RW, e foi comparável à qualidade do produto liofilizado (ABONYI *et al.*, 2001).

Diversas frutas e vegetais já foram desidratados por RW com sucesso, tais com: morango e cenoura (ABONYI *et al.*, 2001), abóbora (NINDO *et al.*, 2003a), aspargo (NINDO

et al, 2003b), manga (OCHOA-MARTINEZ et al., 2012), açaí (PAVAN, 2010), tomate (CASTOLDI, 2012) mirtilo e framboesa (NINDO et al., 2004), abacate, entre outros (NINDO et al., 2007).

### 3.4. CINÉTICA DE SECAGEM E MODELAGEM MATEMÁTICA

Segundo Moreira et al. (2005), os experimentos de secagem de alimentos, muitas vezes, são realizados com amostras de diferentes lotes, as quais podem não apresentar a mesma umidade inicial ao longo de todo o processo. A necessidade de utilizar uma variável que seja capaz de indicar a variação de umidade do produto, independentemente da umidade inicial do mesmo, é interessante para esse tipo de situação. Assim, foi definida a umidade adimensional ( $Y$ ) calculada pela equação 1.

$$Y(t) = \frac{X_{BS}(t) - X_{BS}(eq)}{X_{BS}(0) - X_{BS}(eq)} \quad (1)$$

onde:

$Y$  = adimensional da umidade no tempo  $t$ ;

$X_{BS}(t)$  = umidade no tempo  $t$ , em base seca (g/100g);

$X_{BS}(0)$  = umidade inicial, em base seca (g/100g);

$X_{BS}(eq)$  = umidade de equilíbrio, em base seca (g/100g).

### 3.5. PROPRIEDADES REOLÓGICAS

Dentre as propriedades físicas e químicas, o comportamento reológico ocupa posição de destaque, sendo útil não apenas como medida da qualidade, mas também em projetos, avaliação e operação dos equipamentos processadores de alimentos, tais como: bombas, sistemas de agitação e tubulações (VIDAL, PELEGRINE e GASPARETTO, 2004; HAMINIUK et al, 2006).

De acordo com CHAKRABARTI (1995), o básico conhecimento de reologia é essencial para cientistas que atuam em indústrias de diversos segmentos, pois, processos reológicos relacionam medidas em escala laboratorial ao desempenho em escala industrial.



São conhecidos vários fatores que podem alterar o comportamento reológico de fluidos alimentícios; dentre eles, os mais estudados são a temperatura e o teor de sólidos solúveis (GUEDES, RAMOS e DINIZ, 2010).

Em fluidos pseudoplásticos, a viscosidade geralmente decresce com o aumento da temperatura. O efeito da temperatura sobre a viscosidade da amostra pode ser determinada através da equação linearizada de Arrhenius, que leva em consideração o índice de consistência, o comportamento do fluido, a taxa de cisalhamento e o modelo da Lei da Potência (TONON, 2009; VANDRESEN, 2009; RAO, 1999):

A concentração de sólidos solúveis exerce forte influência sobre a viscosidade aparente de polpas e sucos de frutas. O aumento da concentração provoca diminuição na viscosidade aparente do fluido (STEFFE, 1996), resultado de complexas interações entre os açúcares solúveis, substâncias pécicas e sólidos suspensos, que possam estar presentes na polpa (AHMED et al., 2005).

### 3.6. PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

#### 3.6.1. Índice de Solubilidade em água – ISA

O índice de solubilidade em água (ISA) está relacionado com a quantidade de sólidos solúveis presentes em uma amostra seca e expressa a porcentagem da matéria seca recuperada após evaporação do sobrenadante da determinação de absorção de água, além de permitir verificar o grau de intensidade do tratamento térmico, em função da gelatinização, dextrinização e consequente solubilização dos componentes da matéria-prima, tais como proteína, lipídios e fibras. Este índice é bastante utilizado para medir o grau de solubilização em bebidas, sopas, alimentos infantis, entre outros (MOURA, 2011; CARVALHO, ASCHERI e CAL-VIDAL, 2002).

#### 3.6.2. Índice de Absorção de Água – IAA

Segundo Maia et al. (1999), o IAA é uma propriedade relevante para aplicação em produtos cárneos e de panificação, permitindo a adição de mais água a massa, aumentando o rendimento e melhorando as características de manuseio, sendo que valores altos de absorção

em água são importantes para manter a umidade das massas e retardar o envelhecimento de pães, bolos e biscoitos.

### 3.6.3. Higroscopicidade do produto

Os produtos vegetais possuem a propriedade de realizar trocas de água sob a forma de vapor, com o ambiente que os envolve. Estas trocas podem acontecer por meio do ganho ou da perda de água, fenômenos conhecidos, respectivamente, por adsorção e dessorção, de acordo com as características higroscópicas recíprocas do produto e do ar (CAETANO et al., 2012).

Dependendo do tipo de produto alimentício, a higroscopicidade pode ser benéfica, como no caso da preparação de massas de pães e bolos ou prejudicial como no caso de balas, preparados sólidos para refresco, açúcares e etc. (MARTINS, 2001).

### 3.7. MORFOLOGIA DAS PARTÍCULAS

Segundo Walton (2000) é difícil avaliar de um modo geral o efeito que as variáveis de processo de secagem exercem sobre a morfologia das partículas. Isso é devido principalmente à falta de informações na literatura e à natureza específica de cada material, que torna difícil a classificação das propriedades morfológicas em relação ao processo de secagem, uma vez que a natureza físico-química do produto formado durante a secagem determina o comportamento da partícula. Para uma dada condição de secagem, por exemplo, as partículas podem inchar, encolher ou quebrar, dependendo das propriedades reológicas e da porosidade (ou não-porosidade) do produto em pó.

Para Aguilera e Stanley (1990), o estudo da morfologia das partículas secas oferece um conhecimento valioso sobre os fundamentos da secagem dos alimentos, assim como dos aspectos físicos e químicos que governam a estrutura das partículas. Este estudo permitem a comparação de taxas de secagem entre diferentes alimentos, diferentes concentrações, produtos ou formulações, permitindo a seleção e a melhora das condições de processo e auxiliando no projeto e simulação dos equipamentos.

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é um dos mais versáteis instrumentos disponíveis para a observação e análise de características micro estruturais de materiais

sólidos. A principal razão de sua utilidade é a alta resolução que pode ser obtida quando as amostras são observadas; valores da ordem de 2 a 5 nanômetros são geralmente apresentados por instrumentos comerciais, enquanto instrumentos de pesquisa avançada são capazes de alcançar uma resolução melhor que 1 nm (NAGATANI et al. 1987).

## 4. MATERIAL E METÓDOS

### 4.1. MATÉRIA-PRIMA

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Medidas Físicas (LAMEFI) da Universidade Federal do Pará (UFPA), em Belém. Os frutos de abricó (*Mammea americana* L.) foram adquiridos no mercado Ver-o-Peso, em Belém, sendo estes sanitizados, despulpados com a utilização de faca de aço inox e armazenados em freezer a -18°C até o momento das análises.

#### ➤ CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE ABRICÓ

A polpa de abricó *in natura* foi caracterizada quanto à composição centesimal, pH, sólidos solúveis e acidez, segundo os métodos descritos pela AOAC (2012). Carboidratos totais foram calculados por diferença, segundo a Resolução RDC n° 360, de 23 de Dezembro de 2003 (BRASIL, 2003); enquanto que os açúcares redutores e totais foram quantificados de acordo com o método de Lane-Eyon (1984).

#### ➤ ATIVIDADE DE ÁGUA

Foi determinada por meio de medida direta a 25 °C, em higrômetro na marca AquaLab Series 3TE da DECAGON, com controle interno de temperatura.

#### ➤ ELABORAÇÃO DA PASTA

Para a elaboração da pasta foi utilizada uma proporção 2:1 (fruto:água), onde após a devida pesagem foi feita a homogeneização da pasta em liquidificador (Britania/LQ Diamante Black).

#### 4.2. PROCESSO DE SECAGEM

O processo de secagem para obtenção do produto desidratado foi baseado no processo de secagem realizado por Castoldi et al., (2015).

Enquanto que a cinética de secagem das pastas foi realizada em triplicata. Os ensaios foram realizados através da coleta de aproximadamente 10 g de amostra em intervalos de tempos pré-estabelecidos (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50). As amostras foram analisadas quanto ao teor de umidade, pelo método gravimétrico em estufa a 105°C ate peso constante.

Foram testados nos experimentos de secagem, 10 modelos aos quais foram ajustados os dados obtidos, que foram selecionados por serem de ampla utilização na literatura em experimentos com material alimentício (Newton, Midilli, Logarítmico, Henderson e Pabis, Dois termos, Dois termos exponencial, Aproximação da Difusão, Page modificado, Page e Verma), cujas equações constam na tabela 1.

Tabela 1. **Modelos matemáticos teóricos considerados durante a cinética de secagem de pasta de Abricó.**

Nome do Modelo	Equação	Referência
Newton	$Y = \exp(-k \times t)$	Togrul e Pehlivan (2002)
Midilli	$Y = a \times \exp(-kt^e) + bt$	Midilli, Kucuk e Yapar (2002); Barbosa et al. (2007)
Logarítmico	$Y = a \times \exp(-kt) + c$	Togrul e Pehlivan (2002); Martinazzo et al. (2007)
Henderson e Pabis	$Y = a \times \exp(-kt)$	Henderson e Pabis (1961); Goyal et al. (2007)
Dois termos	$Y = a \times \exp(-k_0.t) + b.\exp(-k_1.t)$	Togrul e Pehlivan (2002)
Dois termos exponencial	$Y = a \times \exp(-k \times t) + (1 - a) \exp(-k \times a \times t)$	Ozdemir e Devres (1999)
Aproximação da Difusão	$Y = a \times \exp(-kt) + (1-a) \times \exp(-kbt)$	Yaldiz, Ertekin e Uzun (2001); Wang et al. (2007)
Page modificado	$Y = \exp(-kt)^n$	Akpinar et al. (2003)
Page	$Y = \exp(-kt^e)$	Page (1949); Erenturk, Gulaboglu e Gultekin (2004)
Verma	$Y = a \times \exp(-k.t) + (1-a)\exp(-g.t)$	Verma et al. (1985)

$Y$ : adimensional de umidade;  $k$ : constante de secagem (min<sup>-1</sup>);  $t$ : tempo (min);  $a$ ,  $b$ ,  $c$ : constantes experimentais (adimensionais);  $e$ : expoente.

Os coeficientes dessas equações foram obtidos mediante o ajuste aos dados experimentais de secagem, utilizando o programa computacional Statistica versão 7.0. Como parâmetro de avaliação do modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais, foi utilizado o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) gerado pelo próprio Software Estatístico, o valor do Qui-quadrado ( $\chi^2$ ) (Equação 2), e a Raiz Quadrada do Erro Médio (RMSE) (Equação 3), que levam em consideração as respostas observadas experimentalmente e os valores preditos pelo modelo (DEMIR et al., 2004; DOYMAZ; ISMAIL, 2010).

$$\chi^2 = \frac{\sum(Y_e - Y_p)^2}{N} \quad (2)$$

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum(Y_e - Y_p)^2}}{N} \quad (3)$$

Onde:

$\chi^2$  = qui-quadrado reduzido;

RMSE = raiz do quadrado médio do erro;

$Y_e$  = adimensional de umidade observado experimentalmente;

$Y_p$  = adimensional de umidade predito pelo modelo;

$N$  = número de pontos experimentais;

### 4.3. DETERMINAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS

#### 4.3.1. Vitamina C

O teor de vitamina C foi determinado através do método Tillmans modificado (BEZERRA NETO; ANDRADE e BARRETO, 1994), onde titulou-se a amostra com 2,6-diclorofenolindofenol de sódio obtendo-se o teor de vitamina C a partir do volume gasto na titulação. Foi utilizado 10g de abricó, 50 mL de água destilada e 50 mL de ácido oxálico a 10% e em seguida homogeneizada.

### 4.3.2. Carotenoides totais

A determinação de carotenoides totais foi realizada segundo o método descrito por Rodriguez-Amaya (2001), na amostra *in natura* e no produto desidratado. Onde a leitura foi realizada em espectrofotômetro fazendo uma varredura entre 20 a 500 nm, usando éter de petróleo como branco. O conteúdo de carotenoides foi determinado pela Equação 8.

### 4.3.3. Capacidade antioxidante

A quantificação da atividade antioxidante foi realizada na amostra *in natura* e no produto desidratado, baseado nos métodos do radical ABTS e DPPH• (2,2-difenil-1-picrilhidrazida), conforme descrito por Rufino (2007).

## 4.4. PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

### 4.4.1. ISA (Índice de Solubilidade em Água) e IAA (Índice de Absorção de Água)

As determinações do ISA e do IAA foram realizadas segundo a metodologia descrita por Anderson et al. (1969), com modificações. Pesou-se cerca de 1g de amostra seca, em tubos de centrífuga, previamente tarados. Adicionou-se 10 mL de água destilada aos tubos os quais foram agitados em agitador mecânico tipo Vortex (Marca: BIOMIXER/Modelo: QL-901), para permitir a homogeneização completa das amostras. Em seguida foram submetidas a centrifuga (Marca: Thermo Electron Led GMBH/Modelo: Multifuge X1R) durante 15 minutos a 3000 RPM. Os líquidos sobrenadantes foram colocados em cadinhos de porcelana, previamente tarados e submetidos ao processo de secagem em estufa com circulação de ar durante 4 horas a 105°C. Os cadinhos foram pesados e o ISA encontrado pela relação do peso do resíduo evaporado (g) pelo peso seco da amostra (g). Após a retirada do líquido sobrenadante, pesou-se os tubos de centrífuga e calculou-se o IAA, de acordo com relação do peso do resíduo centrifugado (g) (gel/g matéria seca).

#### 4.4.2. Higroscopicidade

A higroscopicidade dos produtos desidratados foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Caetano et al. (2012). Pesou-se cerca de 2 g de amostra em cápsulas plásticas, as quais foram colocadas em um dessecador de vidro a uma temperatura de 25°C, contendo uma solução saturada de cloreto de sódio (75% UR). Durante o processo de adsorção, as amostras foram pesadas, periodicamente, até atingirem o equilíbrio higroscópico. A higroscopicidade foi expressa como g de umidade adsorvida por 100 g de amostra seca (g/100g).

#### 4.5. PROPRIEDADES REOLÓGICAS

As análises reológicas foram realizadas em reômetro (Brookfield R/S Plus) com geometria de cilindros concêntricos (CC25). As temperaturas de análises foram 25 e 70°C, sendo estas temperaturas escolhidas, pois se tratam, respectivamente, a temperatura típica de prateleira do produto acabado e a temperatura mínima de pasteurização (PELAIS, ROGEZ & PENA, 2008). A temperatura foi controlada por um banho termostático (LAUDA RE206), devidamente acoplado ao reômetro. Os dados de tensão de cisalhamento e viscosidade aparente foram obtidos pelo método de rampa CR (*control rate*), com taxa de deformação controlada, variando de 0 a 300 s<sup>-1</sup> na curva ascendente e 300 a 0 s<sup>-1</sup> na curva descendente, obtendo 50 pontos na subida e 50 pontos na descida. O procedimento de medida para todas as amostras foi realizado em triplicata.

Os modelos de Ostwald-de Waele ou Lei da potência (Equação 4), Herschel-Bulkley (Equação 5), Bingham (Equação 6) e Mizrahi-Berk (Equação 7), foram ajustados aos dados de tensão de cisalhamento *versus* taxa de deformação, obtidos experimentalmente, por meio de regressão não linear, com auxílio dos softwares estatísticos Microsoft Excel 2010 e Statistica versão 7.0.

$$\tau = K\gamma^n \quad (4)$$

$$\tau = \tau_0 + K\gamma^n \quad (5)$$

$$\tau = \tau_0 + K_B\gamma \quad (6)$$

$$\tau = K_{oM}^2 + (K_M\gamma^{n_M})^2 \quad (7)$$

Onde:

$\tau$ : tensão de cisalhamento (Pa)

$\gamma$ : taxa de deformação ( $s^{-1}$ )

$\tau_o$ : tensão de cisalhamento inicial (Pa)

$K$ : índice de consistência ( $Pa \cdot s^n$ )

$n$ : índice de comportamento do fluido (adimensional)

$K_B$ : Índice de consistência para o modelo de Bingham ( $Pa \cdot s^n$ )

$K_{oM}$ : tensão inicial de Mizrahi-Berk (Pa)

$K_M$ : índice de consistência de Mizrahi-Berk ( $Pa \cdot s^n$ )

$n_M$ : índice de comportamento do fluido de Mizrahi-Berk (adimensional)

A viscosidade aparente, em função do modelo Lei da Potência, foi calculada pelos dados de índice de consistência ( $K$ ), índice de comportamento do fluido ( $n$ ) e Tensão de cisalhamento (Equação 8) que, rearranjada com o modelo Lei da Potência (Equação 4), resultou na Equação 9.

$$\eta_{ap} = \frac{\tau}{\gamma} \quad (8)$$

$$\eta_{ap} = K(\gamma)^{(n-1)} \quad (9)$$

Onde:

$\eta_{ap}$ : viscosidade aparente ( $Pa \cdot s$ )

#### 4.6. PROPRIEDADES MECÂNICAS

A resistência à tração e a porcentagem de alongação na ruptura (Elon) dos filmes foram determinadas utilizando um texturômetro QTS-Texture Analyser (Brook Fielce) de acordo com o método padrão ASTM D 882 (DAVANÇO, et al., 2007). As amostras do produto desidratado foram cortadas, em 100 mm de comprimento e 25 mm de largura. A distância inicial de separação das garras e a velocidade de realização do teste foram fixadas em 50 mm e 2 mm/segundo, respectivamente, conforme metodologia e testes preliminares.

A resistência à tração foi calculada dividindo a força máxima no rompimento do filme ( $F_M$ ), pela área de secção transversal ( $A$ ) (Equação 10). A alongação na ruptura foi determinada dividindo a distância final ( $d_f$ ) de separação da “probe” pela distância inicial ( $d_i$ ) de separação (50 mm), multiplicada por 100 (Equação 11).



A média da espessura (mm) requerida para o cálculo da área seccional foi determinada utilizando 5 medidas obtidas ao longo do filme com auxílio de um micrômetro digital (modelo 3103-25, marca Insize), com precisão de  $\pm 0,002$  mm.

$$RT = \frac{F_M}{A} \quad (10)$$

$$Elon = \frac{d_f}{d_i} \times 100 \quad (11)$$

Onde:

RT: resistência à tração (MPa);

$F_M$ : força máxima no momento da ruptura do filme (N);

A: área da secção transversal do filme ( $m^2$ );

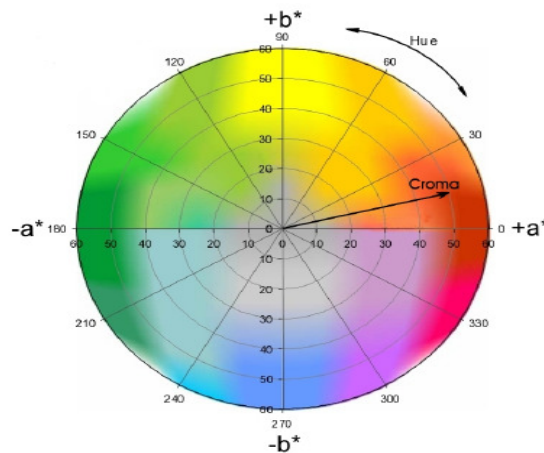
Elon: elongação (%);

$d_f$ : distância no momento da ruptura (mm);

$d_i$ : distância inicial de separação (mm).

#### 4.7. ANÁLISE DE COR

A análise de cor foi realizada em colorímetro CHROMA METER CR-400 / Marca: KONICA MINOLTA, operando no sistema CIE ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) (Figura 4), onde (L) representa a luminosidade ( $L^*$ ) ( $L^* = 0$  preto e  $L^* = 100$  branco); (a) define a transição da cor verde ( $-a^*$ ) para o vermelho ( $+a^*$ ) e (b) representa a transição da cor azul ( $-b^*$ ) para a cor amarela ( $+b^*$ ). A partir destas coordenadas foi calculada a variação total da cor ( $\Delta E^*$ ), utilizando a Equação 17, enquanto que o índice de saturação ( $C^*$ ), o ângulo de tonalidade ( $h^*$ ) foi determinado pelo equipamento.



**Figura 4.** Sistema de coordenadas de cores CIALAB  
**Fonte:** Minolta (1998)

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (12)$$

Onde ( $\Delta E^*$ ) é a variação da cor do produto desidratado em relação a polpa, e o subscrito “0” representa a cor original da polpa.

#### 4.8. MORFOLOGIA DAS PARTÍCULAS DO PRODUTO DESIDRATADO

A morfologia das partículas foi avaliada, utilizando um equipamento MEV modelo LEO-1430 (LEICA Electron Microscopy Ltd., Cambridge, U.K.), sob amperagem de 80mA e voltagem 5kV.

#### 4.9. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados das determinações foram submetidos à análise de variância (ANOVA), teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ), ajuste de modelos, utilizando o Software® Statistica Versão 7.0 (STATSOFT INC., 2004).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE ABRICÓ

Os resultados obtidos para as análises de composição centesimal da polpa de abricó, sólidos solúveis totais, acidez, pH, açúcares totais e redutores estão expressos nas Tabela 2.

**Tabela 2.** Composição Físico-química da polpa de Abricó

Parâmetro (g/100g)	Média	Desvio Padrão
Umidade	89,53	±0,13
Lipídios	0,14	±0,03
Proteínas	0,31	±0,09
Cinzas	0,18	±0,34
Carboidratos Totais	9,82	-
Acidez Total (g/100mL em ácido málico)	0,25	±0,01
Açúcares totais	3,15	±0,07
Açúcares redutores	3,08	±0,02
Sólidos Solúveis totais (% BRIX)	12,5	±0,58
pH	3,76	±0,05

\*Resultados expressos em Base úmida.

Os valores obtidos para a composição físico-química da polpa de abricó estão próximos aos encontrados na Taco (2011) para outros frutos como cupuaçu, manga e bacuri e também similares aos estudados por (MORTON, 1987; GARDENS, 2009 e BRAGA et al., 2010) para polpa de abricó. Já o valor do pH que delimita o crescimento de microrganismos, possibilita a classificação do abricó como um alimento ácido (CHISTÉ; COHEN, 2011)

### 5.2. CARACTERIZAÇÃO DA PASTA

A Tabela 3 apresenta os valores médios da pasta analisada e utilizada no presente trabalho.

**Tabela 3.** Caracterização da pasta elaborada

Parâmetro	Média	Desvio Padrão
Umidade (g/100g)	93	± 0,02
Atividade de água (AA)	0,99	-
Sólidos solúveis totais (° Brix)	8,53	±0,41

O teor de sólidos solúveis totais foi fixado em 8,5 °Brix, pois assim, pode-se garantir que as pastas obtidas de diferentes lotes de abricó apresentassem a mesma concentração de sólidos solúveis, o que também caracteriza a pasta como um produto com baixo teor de sólidos, segundo Carvalho et al. (2003).

As formulações apresentaram um alto valor de umidade (93%) e teor de sólidos de 8,5° Brix, condições necessárias para viabilizar o espalhamento das amostras no secador, condições estas também ajustadas por outros autores que utilizaram a secagem por Refractance Window (CASTOLDI, et al., 2015; CAPARINO et al., 2012 e OCHOA-MARTÍNEZ et al. 2012), de polpa de tomate e de manga.

### 5.3. PROPRIEDADES REOLÓGICAS

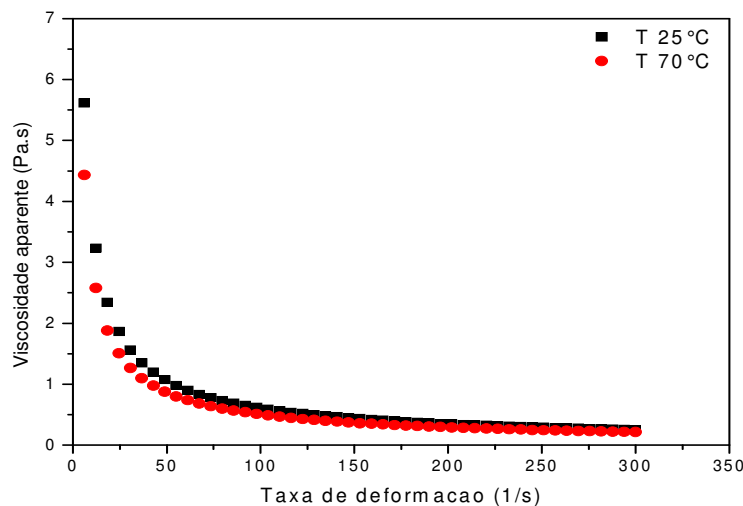
Os modelos reológicos aplicados ajustaram-se de modo satisfatório aos dados experimentais para a pasta de abricó, onde, os valores de  $R^2$  foram próximos à unidade, e os valores de  $\chi^2$ , próximos a zero, para os modelos de Lei da Potência e Herschel-Bulkley, como demonstrado na Tabela 4.

**Tabela 4.** Parâmetros dos modelos ajustados aos dados experimentais da pasta de abricó

Modelo	Parâmetros	Temperaturas	
		25°C	70°C
Lei da Potência	$R^2$	0,9958	0,9922
	$\chi^2$	0,45975	0,67893
	K (Pa.s <sup>n</sup> )	23,64216	18,16184
	N	0,2057	0,22121

	$R^2$	0,99774	0,99965
	$\chi^2$	0,24817	0,03082
	$T_0$ (Pa)	-41,21785	-126,5526
Herschel-Bulkley	K (Pa.s <sup>n</sup> )	59,01974	134,30922
	N	0,12012	0,06064
	$R^2$	0,87599	0,84992
Plástico de Bingham	$\chi^2$	13,58986	13,05462
	$\tau_0$ (Pa)	46,74787	37,90212
	$K_B$ (Pa.s <sup>n</sup> )	0,11216	0,09847
	$R^2$	0,97987	0,95472
Mizrahi-Berk	$\chi^2$	2,20567	3,93864
	$n_M$	0,29083	0,37317
	$K_{OM}$ (Pa)	0	0
	$K_M$ (Pa.s <sup>n</sup> )	0,72277	0,36525

Na Figura 5, apresenta-se a relação entre viscosidade aparente ( $\eta_{ap}$ ) e a taxa de deformação para a pasta. Conforme esperado, verifica-se o decréscimo da viscosidade aparente, considerando isoladamente o aumento da temperatura e da taxa de deformação.



**Figura 5.** Relação entre viscosidade aparente e taxa de deformação para a pasta de abricó

Observa-se, a formação de duas regiões bem distintas, às quais correspondem comportamentos estruturais bem diferenciados. A primeira região, zona de taxa de deformação inferior a  $100 \text{ s}^{-1}$ , na qual as forças de agregação, em razão do movimento

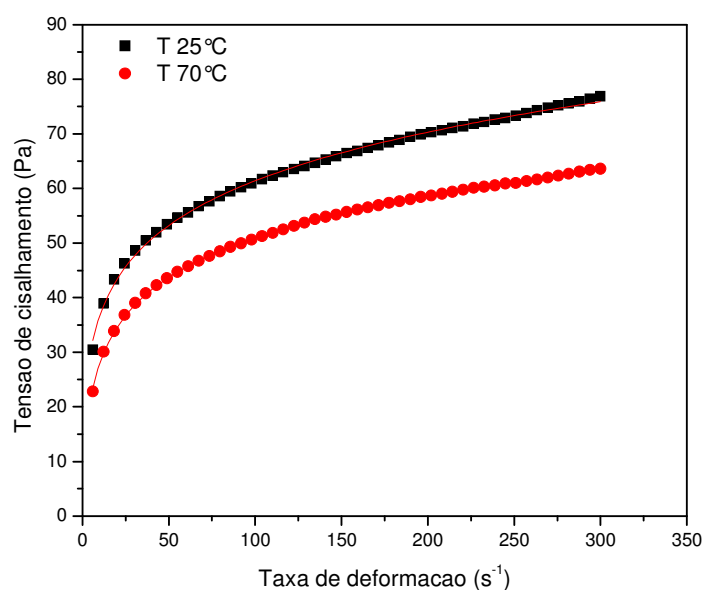
browniano, começam a ser superadas pelas forças de cisalhamento, induzindo o alinhamento das partículas, de modo que a viscosidade aparente da pasta decresce exponencialmente. Na segunda região, zona de taxa de deformação superior a  $100 \text{ s}^{-1}$ , o estado de alinhamento e orientação das partículas encontra-se plenamente estabelecido, e a viscosidade aparente do produto tende a ficar constante, indicando um comportamento newtoniano para a pasta.

Comportamento semelhante foi observado em outros estudos de caracterização reológica de fluidos derivados de frutas (HAMINIUK et al., 2006; SILVA et al., 2005).

Do ponto de vista industrial, a diminuição da viscosidade aparente facilita o escoamento da pasta e a troca de calor durante o processamento. Quanto menor a viscosidade de um fluido, menor será a perda de carga durante o escoamento.

Com o aumento na taxa de deformação, há uma organização de partículas que proporcionam resistência ao fluxo, onde com o aumento da temperatura pode-se observar o aumento desta resistência. Esta organização possibilita que as moléculas deslizem ordenadamente umas sobre as outras, diminuindo a viscosidade da substância. Esta diminuição da viscosidade aparente, que ocorre devido ao aumento na taxa de deformação é comportamento relativo a fluidos pseudoplásticos. De acordo com SCHRAMM (2006), o cisalhamento também pode induzir a quebra de agregados, o que pode auxiliar um material a escoar mais rápido a uma determinada tensão de cisalhamento.

A Figura 6 apresenta o ajuste ao modelo Herschel-Bulkley e no Apêndice encontra-se os dados médios utilizados para elaboração dos gráficos.



**Figura 6.** Ajuste do modelo de Herschel-Bulkley a pasta de abricó nas temperaturas de  $25^\circ\text{C}$  e  $70^\circ\text{C}$

Os valores de  $n$  e  $n_M$  para os modelos de Lei da Potência, Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk apresentados na Tabela 4, foram todos menores que a unidade, indicando o comportamento não newtoniano e tipicamente pseudoplástico ( $<1$ ) para a pasta de abricó. O modelo proposto por Mizrahi-Berk tem se ajustado à maioria das curvas de fluxo de polpas, sucos e purês de frutas, uma vez que foi desenvolvido baseando no modelo de uma suspensão de partículas interagindo entre si em um meio pseudoplástico (PELEGRINE et al., 2000).

Comportamento semelhante foi observado em outros estudos de caracterização reológica de fluidos derivados de frutas: Silva et al. (2005), estudou suco de acerola; Pelegrine e Gaspareto (2002), avaliaram o comportamento reológico de polpa de manga e abacaxi, e Dak et al. (2007), avaliaram suco de manga. Enquanto que para Braga et al. (2013), os resultados obtidos pelo ajuste dos dados experimentais das amostras do suco de abacaxi ao modelo de Mizrahi-Berk indicaram elevados valores de  $R^2$  ( $>0,98$ ) para todas as amostras analisadas, além de baixos valores de  $\chi^2$  próximo a um, sendo por isso aceitável para descrever o comportamento reológico das mesmas.

Os dados experimentais ajustados pelo modelo de Herschel-Bulkley apresentaram os melhores valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e baixos valores de Qui-quadrado ( $\chi^2$ ), podendo ser considerado o melhor ajuste, sendo que em ambas as temperaturas utilizadas o valor de  $R^2$  não variou de 0,99, diferentemente do modelo de Bingham o qual apresentou os menores valores de  $R^2$  (0,87).

#### 5.4. CINÉTICA DE SECAGEM E MODELAGEM MATEMÁTICA

Em todas as condições de secagem os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), foram superiores a 98% para os todos os modelos (Tabela 5), indicando, de acordo com Madamba et al. (1996), uma representação satisfatória do processo de secagem. Porém o coeficiente de determinação não constitui sozinho, um bom critério para a seleção de modelos, para isto, os valores de qui-quadrado reduzido ( $\chi^2$ ) e da raiz quadrada do erro médio ( $RMSE$ ) foram considerados na seleção do modelo.

**Tabela 5.** Valores dos parâmetros e dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ,  $\chi^2$  e  $RMSE$ ) dos modelos estudados.

Modelo	Parâmetros								$R^2$ (%)	$\chi^2$	RMSE (%)
	K	N	A	B	$k_0$	$k_1$	C	G			
Newton	0,0787	-	-	-	-	-	-	-	98,19	4,52	6,41
Midili	0,0192	1,5019	0,9852	0,0001	-	-	-	-	99,47	1,90	3,48
Logaritmo	0,0683	-	1,1183	-	-	-	0,0771	-	98,86	3,57	5,10
Henderson e Pabis	0,0825	-	1,0590	-	-	-	-	-	98,37	4,52	6,08
Dois termos	-	-	0,0825	0,5295	0,0825	0,0825	-	-	98,37	5,81	6,08
Dois termos exponencial	30,3947	-	0,0025	-	-	-	-	-	98,17	5,07	6,44
Aproximação da difusão	0,1543	-	-	0,9970	-	-	-	-	99,37	1,98	3,80
Page Modificado	0,0734	1,4813	-	-	-	-	-	-	99,46	1,52	3,52
Page	0,0209	1,4812	-	-	-	-	-	-	99,46	1,52	3,52
Verma	0,0787	-	0,0955	-	-	-	-	0,0787	98,19	5,65	6,41

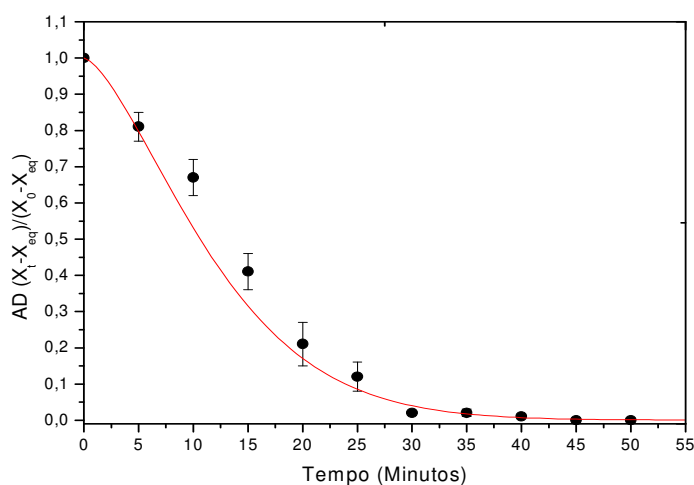
K – coeficiente de secagem,  $s^{-1}$

n – constante nos modelos

Quanto aos valores de  $\chi^2$  e  $RMSE$ , todos os modelos apresentaram números bem baixos, destacando-se o modelo de Page, que alcançou os menores valores, da ordem de 1,52 para  $\chi^2$  e 3,52% para  $RMSE$ .

Dentre os modelos que tiveram os melhores parâmetros estatísticos, o modelo Page foi selecionado por ser uma das equações mais simples por apresentar, dois parâmetros, ser facilmente linearizado, e conseqüentemente de mais fácil solução matemática.

A Figura 7 representa a curva da cinética de secagem da pasta de abricó a temperatura de 70°C durante 50 minutos e o bom ajuste do modelo de Page na representação da razão de umidade em função do tempo para esta secagem.

**Figura 7.** Valores da cinética de secagem da pasta de Abriçó, experimental e estimado pelo modelo de Page.



O estudo da cinética de secagem da casca da manga (*Tommy atkins*), em três temperaturas (50, 60 e 70 °C), observada por Azoubel et al. (2008), mostraram que o aumento da temperatura favoreceu a transferência de massa, diminuindo o teor de água de equilíbrio dinâmico e o tempo de secagem. Estes pesquisadores verificaram que o modelo de Page representou adequadamente os dados experimentais da secagem.

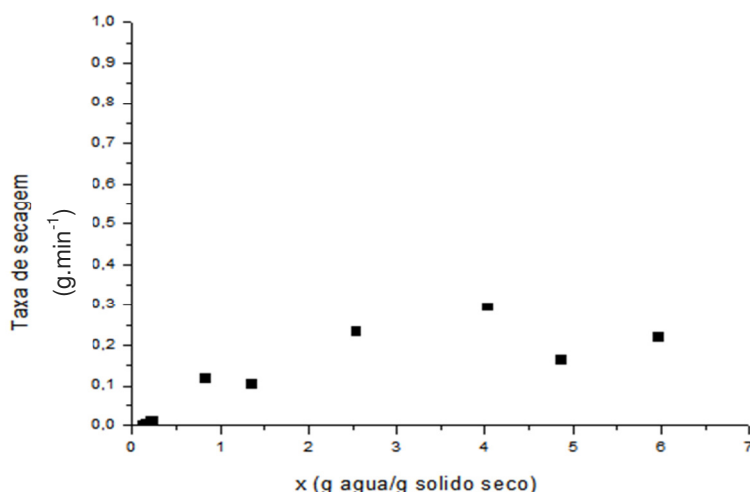
Ocoró-Zamora e Ayala-Aponte (2013) avaliaram os ajustes de dois modelos matemáticos de pasta de mamão papaya (*Carica Papaya L.*) com diferentes espessuras, por Refractance Window, e observaram que os modelos de Newton e Midilli se ajustaram satisfatoriamente aos dados experimentais, apresentando valores de  $R^2 > 0,99$  e erros quadráticos médios inferiores a 3,0%.

Corrêa et al. (2007) verificaram que os modelos Page, Midilli, Henderson e Pabis modificado, Dois termos e Aproximação da difusão foram os que melhor representaram o fenômeno de secagem do feijão nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C, tendo sido o modelo de Page selecionado para descrever a cinética de secagem do produto.

O comportamento de secagem pode apresentar taxas de secagem constante e/ou decrescente. Para produtos biológicos, o comportamento de secagem é, geralmente, decrescente. Esse comportamento é determinado pela migração interna de umidade (PARK; BIN; BROD, 2002; BENDLIN, 2003).

Na Figura 8 observa-se, comportamento de taxa de secagem decrescente. Isto demonstra que a difusão é provavelmente o mecanismo físico que governa o movimento da água na pasta. A evaporação da água dentro do alimento é influenciada por diversos fenômenos, como: capilaridade, ligação físico-química da água as substâncias sólidas presentes no alimento, migração de solutos, deformação do produto, entre outros; note-se que tais fenômenos oferecem grande resistência (BENDLIN, 2003). Pena et al. (2008), na secagem da fibra residual do maracujá, e Azoubel et al. (2009), na secagem de caju com e sem pré-tratamento osmótico, observaram também taxas de secagem decrescentes.

Para melhor visualização do comportamento da secagem, as taxas de secagem foram calculadas em função do conteúdo de umidade (Figura 11)



**Figura 8.** Taxas de secagem da polpa de abricó.

Segundo Castoldi (2012), que estudou a taxa de secagem da polpa de tomate verificou que a secagem apresentou comportamento decrescente, comportamento este similar a taxa de secagem da polpa de abricó. O mesmo comportamento foi apresentado por Nindo et al. (2003a) na secagem de polpa de abóbora por Refractance Window. Castoldi (2012) concluiu que a espessura de espalhamento da polpa de tomate também interferiu na taxa de secagem, sendo que o aumento da espessura de espalhamento da polpa diminuiu a taxa de secagem.

Segundo Abonyi et al. (2001), a circulação contínua de água quente por baixo da pequena espessura do filme *Mylar* aliada a fina camada de polpa a ser desidratada facilitam o processo de secagem. Durante a secagem da polpa ocorre o resfriamento evaporativo, impedindo que a temperatura da mesma alcance a temperatura da água de aquecimento.

### 5.5. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO PRODUTO DESIDRATADO

Com a umidade do produto desidratado de  $8,32 \pm 0,21\%$  bs e a atividade de água de 0,55 pode se concluir que o mesmo foi superior ao encontrado por outros autores que utilizaram o Refractance Window na secagem de manga, tomate, açaí e páprica, sendo que os teores de umidade encontrados por estes autores variaram entre 2,2 % bs a 5,8 % bs, enquanto que a atividade de água variou entre 0,1 e 0,2 (TOPUZ et al., 2011; PAVAN, 2012; CAPARINO et al., 2012 e ZOTARELLI, 2015).

A perda da qualidade dos alimentos secos começa a aumentar em  $aw > 0.3$ , sendo que alimentos com  $aw > 0.6$  estão mais propensos ao crescimento de micro-organismos, bolores e

leveduras (RAHMAN, 1995), portanto, os valores de atividade de água encontrados para a secagem de polpa de abricó por *RW* são favoráveis para a garantia da estabilidade do produto.

## 5.6. COMPOSTOS BIOATIVOS DA POLPA DE ABRICÓ E DO PRODUTO DESIDRATADO

### 5.6.1. Vitamina C

O teor de vitamina C encontrado neste estudo foi de  $27,26 \pm 1,03$  (mg de ácido ascórbico/100g) na polpa de abricó, valor este superior ao encontrado para polpa de cupuaçu e para tomate e manga (VIEIRA, 2000; TACO, 2011). O teor de vitamina C pode ser influenciado pelo tipo de solo, pela forma de cultivo, pelas condições climáticas e pelas práticas de pós-colheita e armazenamento (SOUZA FILHO et al., 1999; CHITARRA & CHITARRA, 2005).

Segundo a Legislação Brasileira (Brasil, 2005), a Ingestão Diária Recomendada (IDR) de vitamina C para um adulto é de 45mg. Onde de acordo com o valor encontrado neste estudo, o consumo de 100g de polpa de abricó suprirá 60,57% da IDR de um adulto, o que o torna uma fonte dessa vitamina e também segundo (Brasil, 2012), o fruto abricó pode ser classificado como contém alto conteúdo de vitamina C.

Segundo Tavares et al. (2000) a estabilidade da vitamina C aumenta com a diminuição da temperatura e a maior perda se dá durante o aquecimento, o que pode justificar a degradação da vitamina C, que ocorreu no produto desidratado ficando abaixo do limite de detecção da metodologia utilizada.

### 5.6.2. Carotenoides totais

No presente trabalho o teor de carotenóides na polpa de abricó foi de  $161,34 \pm 0,40$  bs e do produto desidratado  $103,53 \pm 0,65$  bs ( $\mu\text{g}/100\text{g}$  de  $\beta$ -caroteno), valores estes superiores ao verificado por alguns autores para tucumã, abricó, polpa congelada de Cajá e uxi (HAMANO e MERCADANTE, 2001; MAGALHÃES et al., 2007; ROSSO e MERCADANTE, 2007).

Com isto pode-se verificar que após o processo de secagem a temperatura utilizada influenciou no teor de carotenoides totais promovendo a diminuição do mesmo. Esse comportamento pode ser devido à presença de reações sensíveis ao calor, envolvendo a

degradação de pigmentos responsáveis pela coloração amarela, porém pode-se afirmar que mesmo com esta diminuição a polpa de abricó e o produto desidratado ainda assim podem ser considerada fonte de pró-vitamina A (MAGALHÃES et al., 2007).

### 5.6.3. Capacidade antioxidante

Ao analisar os resultados de quantificação da atividade antioxidante a partir dos cálculos de substituição na equação da reta na curva de Trolox, conforme o método ABTS obteve-se um valor de  $31,96 \pm 0,76$   $\mu\text{M}$  de Trolox/g bs de amostra de abricó *in natura* resultado superior ao encontrado por Braga et al. (2010), para polpa de abricó ( $11,82 \pm 1,4$   $\mu\text{M}$  de Trolox/ g). A atividade antioxidante medida está dentro da faixa encontrada por Hassimoto et al. (2005), para acerola, e superior ao encontrado por Silva et al. (2007) para o muruci e O ingá, e os encontrados por Kuskoski et al. (2005), que avaliaram a atividade antioxidante de polpas de frutas tropicais como açaí, manga, cupuaçu e maracujá, as quais apresentaram valores TEAC, variando entre 2,0 e 13,2  $\mu\text{M}$  trolox/g de polpa. Porém ao que se refere a capacidade antioxidante do produto obtido o valor médio encontrado foi de  $30,48 \pm 0,43$   $\mu\text{M}$  de Trolox/g bs valor este que próximo ao valor da amostra *in natura*, indicando que não houve alteração desta capacidade, o que nos permite concluir que se por um lado o calor pode promover a destruição de alguns compostos, que possuem atividade antioxidante, por outro lado, o uso da temperatura de 70°C no Refractance Window não influenciou grandes perdas desta capacidade.

Ao analisar os resultados de quantificação da atividade antioxidante a partir dos cálculos de consumo do radical DPPH, obteve-se um valor de  $192,51 \pm 0,13$  e  $23,94 \pm 0,21$  g fruta/g DPPH bs na amostra de abricó *in natura* e no produto obtido, respectivamente, ou seja, a amostra de abricó possui alta capacidade em degradar o radical DPPH.

Os valores da capacidade antioxidante a partir do radical DPPH foram superiores aos encontrados por Vasco, Ruales e Kamal (2008), para polpa de frutas como goiaba e graviola (30 e 23 g fruta/g DPPH).

Apesar dos diferentes resultados apresentados pelos métodos de atividade antioxidante, pode-se verificar que o uso da temperatura de 70°C no Refractance Window não influenciou em grandes perdas desta capacidade pelo método ABTS, enquanto que pelo uso do DPPH verificou-se a perda da capacidade antioxidante do produto desidratado, o que nos

permite concluir que se por um lado o calor pode promover a destruição de alguns compostos que possuem atividade antioxidante, dependendo do método este pode ser perceptível ou não.

A vantagem do teste ABTS consiste na sua relativa simplicidade, que permite a aplicação na rotina de qualquer laboratório. O resultado da determinação do método é dependente do tempo de incubação assim como da taxa da amostra quantificada, esta dependência somada a pouca seletividade do ABTS+ na reação com átomos doadores de hidrogênio constituem na limitação desse método. Deste modo, divergências nos resultados podem ser atribuídas a fatores limitantes como a diferença no tempo de incubação ou na estratégia de obtenção de ABTS+ (BORGES et al., 2011).

### 5.7. PROPRIEDADES MECÂNICAS

O produto desidratado apresentou espessura média de  $0,129 \pm 0,02$  mm, resultado próximo ao encontrado para filmes comestíveis de amido adicionado de acerola e à base de zeína de trigo (PARK e CHINNAN 1995; FARIAS et al., 2012).

A Resistência a Tração (RT) do presente trabalho foi igual a  $1,15 \pm 0,34$  Mpa, valor este inferior a filmes à base de resíduos de frutas e hortaliças e superior ao relatado para de filmes comestíveis de amido adicionado de acerola (FARIAS et al., 2012; ANDRADE, 2014).

A elongação na ruptura é a variação máxima de comprimento de uma amostra teste, submetida a uma tensão, antes de se romper (PEREDA; AMICA; MARCOVICH, 2012). No presente trabalho a porcentagem de Elongação obtida foi de  $13,93 \pm 0,51\%$  valor este superior a de filmes elaborados à base de vegetais e de filmes compostos de gelatina, triacetina, ácido esteárico ou capróico (MCHUGH; OLSEN, 2002; DAVANÇO; TANUDA-PALMU; GROSSO, 2007).

Assim, como na resistência à tração a ruptura, a elongação dos filmes sofre influência pela ação das cadeias poliméricas, dificultando a flexibilidade e extensibilidade dos filmes (PARRA et al., 2004). O que permite concluir que o produto desidratado a base de abricó pode ser utilizado para elaboração de produtos diversos na área alimentícia, devido sua boa resistência.

## 5.8. PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

### 5.8.1. ISA (Índice de Solubilidade em Água) e IAA (Índice de Absorção de Água)

Pode-se verificar no ISA que o valor encontrado de  $32,73 \pm 0,67$  (%) foi inferior ao a solubilidade em água de filmes baseados em biopolímeros (proteínas e carboidratos), tais como filmes de fécula de mandioca, de gelatina e de filmes à base de extrato do bagaço de uva, com adição de pectina de baixa metoxilação (SHIH, 1996; PÉREZ-MATEOS; MONTERO; GÓMEZ-GUILLÉN, 2009; TONGDEESOONTORN et al., 2011 e DENG; ZHAO, 2011).

Sendo que de acordo com Fernandes et al. (2003), quanto maior a solubilidade do produto, melhor é sua indicação do potencial de uso em sistemas alimentares. No entanto, a alta solubilidade pode ser uma vantagem para algumas aplicações como em situações em que os filmes serão consumidos com um produto semipronto, que é aquecido antes do consumo (BOURTOOM; CHINNAN, 2008).

Já o índice de absorção de água (IAA), foi de  $7,60 \pm 0,13$  ( $\text{g.g}^{-1}$ ) valor este que para (ANDRADE, 2014) sugerem que a água se liga fracamente com o produto desidratado. Sendo que o IAA representa um indicativo da disponibilidade das moléculas de grupamentos hidrofílicos (como as hidroxilas), para interagirem com moléculas de água.

### 5.8.2. Higroscopicidade

Para o produto estudado, o valor encontrado foi de  $21,46 \pm 0,59$   $\text{H}_2\text{O}$  por 100g de massa seca. Cai e Corke (2000) estudando a secagem de pigmentos de betacianina observaram a redução da higroscopicidade com o aumento das concentrações de maltodextrina. Resultados semelhantes foram observados em açaí produzido por *spray drying* se resultados menores foram encontrados para polpa de manga seca por *refractance window* (Tonon et al., 2008; Caparino et al., 2012). Os resultados inferiores de higroscopicidade observados pelos autores podem estar relacionados com as diferenças na composição das matérias primas estudadas, uma vez que a higroscopicidade está relacionada com a presença de compostos amorfos, como açúcares.

De acordo com Tonon et al. (2008), temperaturas de secagem mais altas geram produtos com umidades mais baixas e maior facilidade em adsorver água. Isto está

relacionado ao gradiente de concentração de água que existe entre o produto e o ambiente, ou seja, quanto maior o gradiente, maior é a higroscopicidade de um material, sendo o material desidratado a base de abricó considerado um produto muito higroscópico e de boa solubilidade.

### 5.9. ANÁLISE DE COR

A cor é um importante atributo de qualidade dos alimentos, em especial dos alimentos desidratados. Os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $h^*$  e  $\Delta E^*$  do produto desidratado a temperatura de 70°C estão apresentados na Tabela 6, que demonstram que houve diferença significativa entre as amostras, apresentando valores positivos para as coordenadas de cromaticidade  $a^*$  e  $b^*$ , que representam, respectivamente, a tendência ao vermelho e ao amarelo, dentro do sistema CIELab\*.

**Tabela 6.** Parâmetros de cor CIELab\*, croma, ângulo hue e  $\Delta E^*$  da polpa de abricó e do produto desidratado.

Produto	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*$	$h^*$	$\Delta E^*$
<b>Abricó</b>	43,88±0,23 <sup>a</sup>	7,31±0,09 <sup>a</sup>	29,37±0,17 <sup>a</sup>	30,26±0,20 <sup>a</sup>	76,01±0,10 <sup>a</sup>	-
<b>Filme</b>	39,85±0,59 <sup>b</sup>	0,69±0,13 <sup>b</sup>	25,15±0,24 <sup>b</sup>	25,16±0,24 <sup>b</sup>	88,42±0,30 <sup>b</sup>	8,83±0,50

Letras diferentes na coluna indicam diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ).

O filme produzido pelo *refractance window* apresentou menor luminosidade, ou seja, coloração mais escura, em comparação com o fruto in natura, visto os valores do parâmetro  $L^*$  dessas amostras, sendo que este fato pode estar ligado com a formação de produtos da degradação dos carotenoides e vitamina C presentes na amostra.

Com relação ao parâmetro  $a^*$ , o qual indica a tendência ao vermelho quanto mais positivo for esse parâmetro, foi observado maior valor na amostra in natura do que o filme produzido. Embora a associação dos três parâmetros seja interessante na avaliação da cor de um produto, no caso do abricó cuja cor predominante é o amarelo, o parâmetro  $b^*$  é um dos mais interessantes a ser utilizado para distinção das diferenças de cor resultantes dos processos de secagem desse produto (Caparino et al., 2012). Nesse caso, o valor mais intenso de  $b^*$  foi obtido para o fruto in natura, seguido do filme produzido. Foi observada diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre todos os parâmetros avaliados, tanto para o fruto quanto para o

produto da secagem realizada. Caparino et al. (2012) secaram polpa de manga por *refractance window*, liofilização, *drum drying* e *spray drying*. Os autores correlacionaram os parâmetros da cor dos pós-obtidos pelos diferentes processos em função do tamanho das partículas. Nos resultados é possível observar que para partículas entre 180 e 500  $\mu\text{m}$ , produzidas por *refractance window* e por liofilização, os valores de  $b^*$  foram entre 40 e 50, resultados superiores ao observado nesse estudo.

Os valores do croma ( $C^*$ ) encontrados ficaram entre 30,26 e 25,16, diferindo estatisticamente entre si (Tabela 6). De acordo com Borguini e Silva (2005) a cromaticidade define a saturação e intensidade da cor determinada pelo ângulo hue ( $h^*$ ), portanto, um maior valor do croma indica uma cor mais intensa. O croma assume valores entre 0 e 60: 0 indica aproximação a cores neutras (tendendo ao cinza) e 60 indica aproximação a cores vívidas, logo, é possível concluir que o produto elaborado a partir do abricó apresentou coloração pouco mais intensa do que o fruto in natura, pois os valores de croma foram baixos em relação ao intervalo abrangido por este parâmetro.

O ângulo hue ou de tonalidade varia de 0 a 360°. O ângulo 0 representa o vermelho; o 90 representa o amarelo; o 180 representa o verde e o 270 representa o azul (MCGUIRRE, 1992, SILVA et al., 2010). As amostras apresentaram  $h^\circ$  76,01 e 88,42, indicando a sua forte tendência para o tom amarelo (Tabela 6), mesmo após o processamento o que indica que mesmo com a alteração em outros compostos como carotenoides o mesmo não perdeu a tonalidade característica do fruto.

A análise global de diferença de cor ( $\Delta E$ ) pode ser a mais adequada por possibilitar verificar as possíveis alterações na cor durante a secagem do produto. Nesse quesito, foi analisada a diferença global do produto da secagem em relação à polpa original. Onde segundo a Tabela 6, foi de 8,83 valor este próximo ao encontrado com Zotarelli et al. (2015), para secagem de polpa de manga com adição de maltodextrina (8,26), e inferior ao encontrado pelo mesmo autor para polpa de manga seca no *refractance window* com e sem adição de maltodextrina. De acordo com Lee e Coates (1999) um  $\Delta E^*$  de 2 já pode ser bastante significativo em amostras de sucos de frutas tratados termicamente.

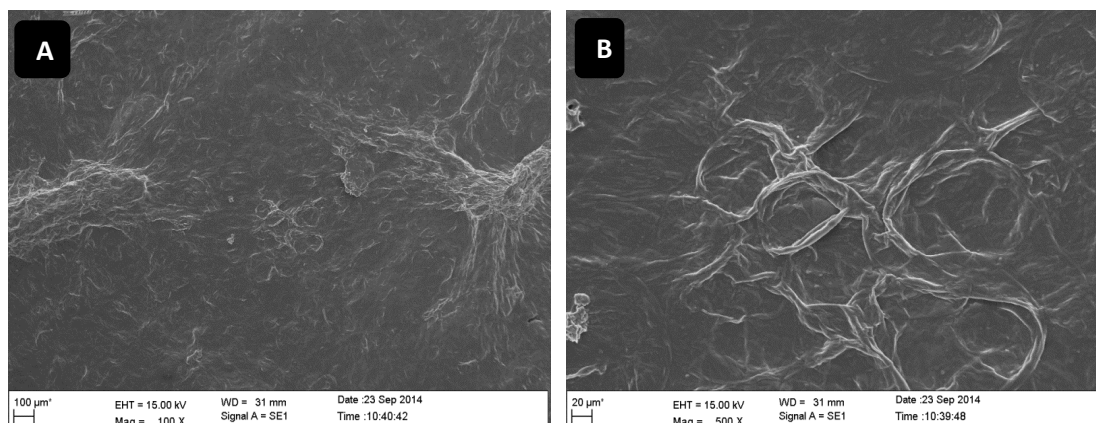


### 5.10. MORFOLOGIA DAS PARTÍCULAS

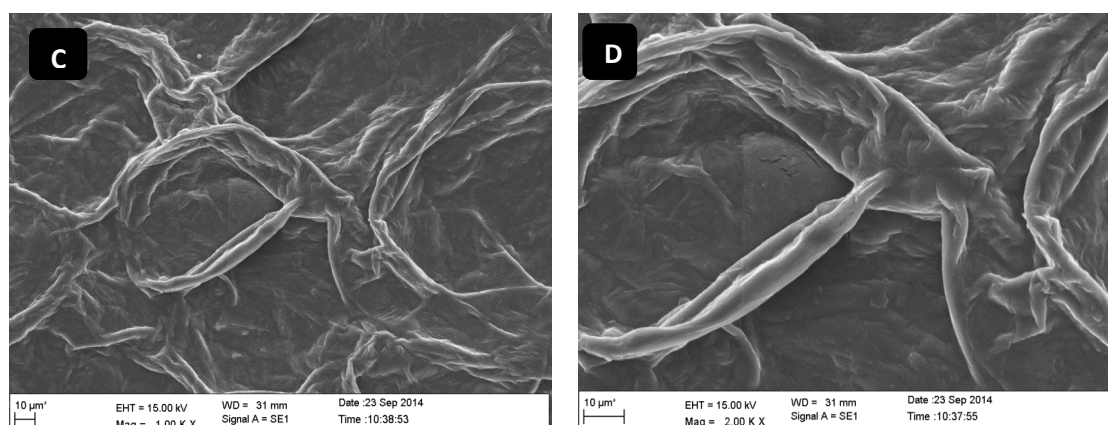
Através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram verificadas as características morfológicas e estruturais do produto obtido.

Vários estudos envolvendo a avaliação de filmes e envoltórios comestíveis têm utilizado a microscopia eletrônica de varredura como ferramenta, buscando correlacionar as propriedades dos mesmos com a estrutura morfológica (SOUZA, 2001). A microscopia permite observar as estruturas de materiais poliméricos e os efeitos dos diversos tratamentos a esses materiais.

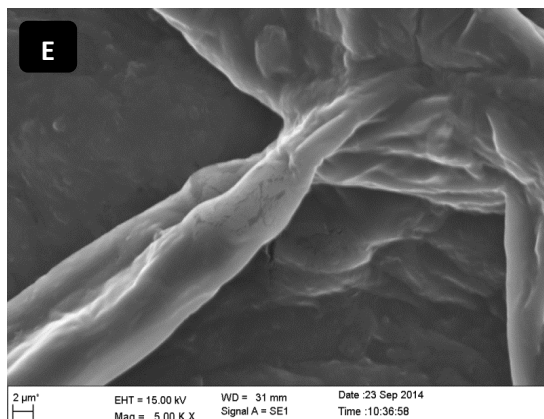
As Figuras 9, 10 e 11 mostram imagens do produto obtido através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) com um aumento de 100 (A), 500 (B), 1000 (C), 2000 (D) e 5000 vezes (E).



**Figura 9.** Microestrutura do produto obtido a 100 (A) e 500 vezes (B).



**Figura 10.** Microestrutura do produto obtido a 1000 (C) e 2000 vezes (D).



**Figura 11.** Microestrutura do produto obtido a 5000 (E).

Conforme se pode observar nas Figuras 9, 10 e 11 os produtos obtidos após a secagem apresentaram formatos regulares com uma superfície da partícula lisa. Essa característica favorece a estabilidade, uma vez que a área disponível para oxidação é menor (Caparino et al., 2012). Fato este que pode estar relacionado a uniformidade da pasta de abricó e o controle do espalhamento da amostras no secador, assim como também o próprio processo de secagem que utiliza uma película de plástico transparente como superfície de contato a qual não é perturbada durante a secagem. Segundo Costa (2004) estruturas alongadas e com espessura fina nas micrografias podem estar relacionadas a fibras alimentares, constituintes da parede celular do vegetal.

Resultado este semelhante ao estudado por Caprino et al. (2012) que ao estudarem a secagem de purê de manga por Refractance Window que encontraram microestruturas lisas e escamosas com espessuras uniformes, enquanto que Rigo (2006) observou fraturas na superfície ao estudar e caracterizar filmes comestíveis a partir de alginato de sódio.

Diferente do que ocorreu em estudo sobre a secagem da amora preta utilizando temperatura de entrada do ar de 130 °C e com 8% de diferentes agentes carreadores na formulação, Fazaeli et al. (2012) onde foi relatado a aglomeração das partículas.

Segundo Reiniccius (2001) durante a secagem as condições de processamento que resultam em maiores taxas de secagem (como temperaturas mais elevadas) favorecem a formação de partículas maiores, devido ao fato da estrutura ser formada mais rapidamente, evitando o encolhimento da partícula durante a secagem.

Segundo Walton (2000), é difícil avaliar de um modo geral o efeito que as variáveis de processo de secagem exercem sobre a morfologia das partículas. Isso é devido principalmente à falta de informações na literatura e à natureza específica de cada material, que torna difícil a

classificação das propriedades morfológicas em relação ao processo de secagem, uma vez que as propriedades físico-química, reológicas e morfologias da pasta utilizada na secagem determina o comportamento da partícula. Para uma dada condição de secagem, por exemplo, as partículas podem inchar, encolher ou quebrar, dependendo das propriedades reológicas e da porosidade (ou não-porosidade) desta pasta que podem permitir a seleção e a melhora das condições de processo e auxiliando no projeto e simulação dos equipamentos.

## 6. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos para o produto desidratado foram promissores, tendo em vista a utilização de uma matéria-prima regional para elaboração de um novo produto, que pode ser utilizado como um separador de componentes, por exemplo, em substituição das algas utilizadas nos sushis e temakis.

A formulação apresentou um alto valor de umidade (93%) e teor de sólidos de 8,5° Brix, condições estas que foram satisfatórias para viabilizar o espalhamento das amostras no secador.

No que se refere as propriedades reológicas o modelo de Herschel-Bulkley apresentou os melhores valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e baixos valores de Qui-quadrado ( $\chi^2$ ), podendo ser considerado o melhor ajuste.

Com relação a cinética de secagem, dentre os modelos que tiveram os melhores parâmetros estatísticos, o modelo Page foi selecionado por ser uma das equações mais simples por apresentar, dois parâmetros, ser facilmente linearizado, e conseqüentemente de mais fácil solução matemática.

O comportamento de taxa de secagem foi decrescente, o que demonstra que a difusão foi provavelmente o mecanismo físico que governa o movimento da água na pasta.

O teor de vitamina C encontrado se considerado a legislação brasileira conclui que o consumo de 100g de polpa de abricó suprirá 60,57% da IDR de um adulto, o que o torna uma fonte dessa vitamina.

Já o teor de carotenóides na polpa de abricó diminui com a secagem da pasta, enquanto que a atividade antioxidante verificada pelo método ABTS observou-se que não houve alteração desta atividade, porém pelo radical DPPH o valor desta atividade antioxidante foi maior tanto para a amostra in natura quanto no produto desidratado o que nos permite concluir que se por um lado o calor pode promover a destruição de alguns compostos que possuem atividade antioxidante, dependendo do método este pode ser perceptível ou não.

O produto desidratado apresentou espessura média de  $0,129 \pm 0,02$  mm, e bons índices de Resistência a Tração (RT) e porcentagem de alongação na ruptura. Com relação as propriedades tecnológicas pode-se destacar os elevados índices de Solubilidade em água, o que favorece a aplicação deste produto na substituição das algas em sushis, o produto desidratado também apresentou poucas perdas de tonalidades e com morfologia de partículas particularmente diferenciada.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABONYI, B. I.; FENG, H.; TANG, J.; EDWARDS, C. G.; CHEW, B. P.; MATTINSON, D. S.; FELLMAN, J. K. Quality retention in strawberry and carrot purees dried with *Refractance Window*<sup>TM</sup> system. **Journal of Food Science**, Vol. 67, N°. 2, 2001.

ABUSHITA, A.; DAOOD, H.; BIACS, P. Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48,p. 2075–2081, 2000.

AGUILERA, J. M.; STANLEY, D. W. Microstructural Principles of Food Processing & Engineering. Cambridge, **Elsevier Applied Science**, p.343, 1990.

AGUS, D. B.; VERA, J.C. e GOLDE, D.W. Stromal cell oxidation: a mechanism by which tumors obtain vitamin C [Jornal]: *Cancer Research*, Vol. 59. 1999.

AHMED, J.; RAMASWAMY, H. S.; HIREMATH, N. The effect of high pressure treatment on rheological characteristics and colour of mango pulp. *International Journal of Food Science and Technology*, Oxford, v. 40, p. 885-895, 2005.

AHMED, J. Drying of vegetables: principles and dryer design. Em **Handbook of Vegetables and Vegetable Processing**. Sinha, N. K. Ed. Blackwell Publishing Ltd, 2011.

AKPINAR, E.K.; BICER, Y.; YILDIZ, C. Thin layer drying of red pepper. *Journal of Food Engineering*, v.59, p.99-104, 2003.

ALMEIDA, F.A.C.; GOUVEIA, J.P.G.; VILLAMIL, J.M.P.; SILVA, M.M. Secagem natural e artificial de vagens de algaroba. **Revista Brasileira de Armazenamento**. Viçosa, v.27, n.1, p.48–57, 2002.

ALONSO, R., AGUIRRE, A., & MARZO, F. Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. **Food Chemistry**, Londres, v.68, n. 2, p. 159–165, 2000.

ALVES, R.E.; BRITO, E. S.; SAURA-CALIXTO, F. D.; RUFINO, M. S. M.; PÉREZJIMENEZ, J. Compostos com propriedades funcionais em frutas. **II Simpósio Brasileiro de Pós-Colheita**, p. 179 – 187, 2007.

ALVES, R.E.; FILGUEIRAS, H.A.C.; MOURA, C.F.H. Caracterização de frutas nativas da América Latina. p. 66. (Série Frutas Nativas, 9). Jaboticabal: Funep, 2000.

AMANCIO, R. D.; SILVA, M. V. Consumo de carotenoides no Brasil: a contribuição da alimentação fora do domicílio. **Revista Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v. 19, p. 130-141, 2012.

AMBRÓSIO, C. L. B.; CAMPOS, F. A. C. S.; FARO, Z. P. Carotenoides como alternativa contra a hipovitaminose A. **Revista Nutrição**, v. 19, p. 233-43, 2006.

ANDERSON, R. A.; CONWAY, V. F. P.; GRIFFIN, E. L. Gelatiniozation of corn grits by roll-and extrusion-cooking. **Cereal Science Today**. v. 14, n. 1, p4-7, 1969.

ANDRADE, R. M. S. Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis à base de resíduos de frutas e hortaliças. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), Rio de Janeiro, 2014.

ANGELO, J.A. Destinos das Exportações dos Agronegócios Brasileiros de 2007. Análises e Indicadores do Agronegócio. v.3, n.3, março, 2008.

ANTOLOVICH, M.; PRENZLER, P. D.; PATSALIDES, E.; MACDONALD, S.; ROBARDS, K. Methods for testing antioxidante activity. *J. Royal Soc. Chem.*, v.127, p. 183-198, 2002.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA. Editora Gazeta. p. 236. 2015.

AOAC **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry: Agricultural chemicals, contaminants, drugs.** 19. ed., Gaithersburg, 2012.

ARANHA, F. Q., BARROS, Z. F., MOURA, L. S. A., GONÇALVES, M. C. R., BARROS, J. C., METRI, J. C., SOUZA, M. S. O papel da vitamina C sobre as alterações orgânicas no idoso. **Revista Nutrição**, v. 13, n. 2, 2000.

ARTS, I. C. W.; HOLLMAN, P. C. H. Polyphenols and disease risk in epidemiologic studies. **American Journal Clinical Nutrition**. v. 81, p. 317-25. 2005.

ASTM. Tensile properties of thin plastic sheeting. **Annual Book oh ASTM Standards**, Philadelphia: American Society for Testing and Materials, D 882, 1995.

AZOUBEL, P. M.; EVANGELISTA, E. C. D.; OLIVEIRA, S. B.; SILVA, I. R. A.; ARAÚJO, A. J. B. Cinética de secagem da casca de manga (*Tommy atkins*). **XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Química**. Recife – PE. de 14 a 17 de setembro de 2008.

AZOUBEL, P. M.; El-Aouar, Â.A.; Tonon, R.V.; Kurozawa, L.E.; Antonio, G.C.; Murr, F.E.X. e Park, K.J.; Effect of osmotic dehydration on the drying kinetics and quality of cashew Apple. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, p. 980-986, 2009.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; VEGA-MERCADO, H. Deshidratación de alimentos. Espanha: **Ed. Acribia S.A.**, 297 p, 2000.

BARBOSA, F. F.; MELO, E. C.; SANTOS, R. H. S.; ROCHA, R. P.; MARTINAZZO, A. P.; RADÜNZ, L. L.; GRACIA, L. M. N. Evaluation of mathematical models for prediction of thin-layer drying of Brazilia lemon-scented verbana leaves (*Lippia alba* (Mill) N.E. Brown). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 73-82, 2007. 298 p.

BECKER, E. M.; NISSEN, L. R.; SKIBSTED, L. H. Antioxidant evaluation protocols: Food quality or health effects review. **Eur. Food. Res. Technol.**, v. 219, p. 561-571, 2004.

BENDLIN, R. C. S. **Secagem convectiva de erva-mate (*Ilex paraguariensis*)**. 2003. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)-Departamento de Engenharia Química e de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

BEZERRA NETO, E.; ANDRADE, A. G.; BARRETO, L.P. Análise química de tecidos e produtos vegetais. Recife: UFRPE/Dep.de Química Vegetal, 1994.

BORGUINI, R. G.; SILVA, M. V. Características físico-químicas e sensoriais do tomate (*lycopersicon esculentum*) produzido por cultivo orgânico em comparação ao convencional. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v.16, p.355-361, 2005.

BORGES, L. L.; LÚCIO, T. C.; GIL, E. de S.; BARBOSA, E. F.; Uma abordagem sobre métodos analíticos para determinação da atividade antioxidante em produtos naturais. **ENCICLOPEDIA BIOSFERA**. 7; 1-20; 2011.

BOURTOOM, T.; CHINNAN, M. S. Preparation and properties of rice starch–chitosan blend biodegradable film. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, n. 9, p. 1633–1641, 2008.

BRAGA, A. C. C.; RODRIGUES, A. M. C.; SILVA, L. H. M.; ARAÚJO, L. A. Avaliação da influência da temperatura e do tratamento enzimático no comportamento reológico do suco de abacaxi pérola (*Ananas comosus* L. Merr.). **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal - SP, v. 35, n. 1, p. 226-237-, Março 2013.

BRAGA, A.C.C.; SILVA, A.E.; PELAIS, A.C.A.; BICHARA, C.M.G.; POMPEU, D.R.; Atividade Antioxidante E Quantificação De Compostos Bioativos Dos Frutos De Abriçó (*Mammea Americana*). **Alimentos e Nutrição**. Araraquara, v.21, n.1, jan/mar. 2010.

BRASIL, Ministério da saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), Diário Oficial da União Resolução RDC nº 360. Regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados Brasília, DF. Dezembro de 2003.

BRASIL, Ministério da saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), Diário Oficial da União Resolução RDC nº 269. Regulamento Técnico Sobre A Ingestão Diária Recomendada (IDR) De Proteína, Vitaminas E Minerais. Brasília, DF. Setembro de 2005.

BRASIL, Ministério da saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), Diário Oficial da União Resolução RDC nº 54. Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar. Brasília, DF. Novembro De 2012.

CAETANO, G. S.; SOUSA, K. A.; RESENDE, O.; SALES, J. F.; COSTA, L. M. Higroscopicidade de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 42, n. 4, p. 437-445, out./dez. 2012.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spray-dried Amaranthus betacyanin pigments. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 65, n.6, 2000.

CALLEGARIN, F. Lipids and Biopackaging. **Journal of American Oil Chemistry Society**, v. 74, n. 10, p. 1183-1192, 1997.

CANUTO, G. A. B.; XAVIER, A. A. O.; NEVES, L. C.; BENASSI M.T.; Caracterização Físico-Química de Polpas de Frutos da Amazônia e Sua Correlação com a Atividade Anti-Radical Livre. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal - SP, v. 32, n. 4, p. 1196-1205, Dez., 2010.

CAPARINO, O. A.; TANG, J.; NINDO, C. I.; SABLANI, S. S.; POWERS, J. R.; FELLMAN, J. K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (*Philippine 'Carabao' var.*) powder. **Journal of Food Engineering**, v. 11, 2012.

CARVALHO, J. E. U.; NAZARÉ, F. R. F.; NASCIMENTO, W. M. O. Características físicas e físico-químicas de um tipo de bacuri (*Platonia insignis Mart.*) com rendimento industrial superior. **Revista Brasileira de Fruticultura**. V. 25, n.2, 2003.

CARVALHO, R.V.; ASCHERI, J.L.R.; CAL-VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de extrusados (3G) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciência e Agrotecnologia**, Ponta Grossa, v.26, n.5, p.1006-1018, 2002.

CASTOLDI, M.; ZOTARELLI, M. F.; DURIGON, A.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. Production of tomato powder by Refractance Window drying. **Drying Technology**. Vol 33, p 1463-1473. 2015.



CASTOLDI, M. **Estudo do processo de secagem de polpa de tomate por Refractance Window**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis . 2012.

CAVALCANTE, P.B. **Frutas Comestíveis da Amazônia**. 5.ed. Belém: CEJUP, 1991.

CHAKRABARTI, S. Some recente advances in foodrheology. In: GAONKAR, A. C. (Ed.). **Characterization of Food: Emerging Methods**. Elsevier Science B. V., Cap. 12, p. 277-308. 1995.

CHEN, X. D. E ÖZKAN, N.S. Tickness, functionality, and microstructure of food powders. *Drying Technology*, V. 25, p. 969-979. 2007.

CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. O. Influência da fermentação na qualidade da farinha de mandioca do grupo d'água. *Revista Acta Amazônica*, Manaus, v. 41, n. 2, p. 279-284, 2011.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2.ed. Lavras: UFLA, 2005.

CNA - Confederação Nacional da Agricultura. Disponível em: <<http://www.canaldoprodutor.com.br/comunicacao/noticias/o-brasil-e-terceiro-maior-produtor-de-frutas-do-mundo-mas-menos-de-25-da-popula>>. Acesso em: 02/02/2016.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MARTINAZO, A. P.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M.; Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 501-510, 2007.

CORRÊA, P. C.; RIBEIRO, D. M.; RESENDE, O.; BOTELHO, F. M. Determinação e modelagem das propriedades físicas e da contração volumétrica do trigo, durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 665–670, 2006

CORRÊA, P. C.; ARAÚJO, E. F.; AFONSO JÚNIOR, P. C. Determinação dos parâmetros de secagem em camada delgada de sementes de milho doce (*zea mays* l.). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 2, p. 110-119, 2003.

COSTA, L. A. Caracterização do resíduo da fabricação de farinha de mandioca e seu aproveitamento no desenvolvimento de alimento em barra. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina. 2004.

DAK, M.; VERMA, R. C.; JAAFFREY, S. N. A. Effect of temperature and concentration on rheological properties of “Kesar” mango juice. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 80, n. 4, p. 1011-1015, 2007.

DAUDIN, J.D. Calculo des cinétiques de séchage par l'air chaud des. **Science Aliments**, v.3, n.1, p.1-36, 1983.

DAVANÇO, T.; TANADA-PALMU, P.; GROSSO, C. Filmes compostos de gelatina, triacetina, ácido esteárico ou caprótico: efeito do pH e da adição de surfactantes sobre a funcionalidade dos filmes. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Junho, 2007.

DEL RÉ, P.V.; JORGE, N. Especiarias como antioxidantes naturais: aplicações em alimentos e implicação na saúde. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v.14, n.2, p.389-399, 2012.

DEMIR, V.; GUNHAN, T.; YAGCIOGLU, A. K.; DEGIRMENCIOGLU, A. Mathematical modelling and the determination of some quality parameters of air-dried bay leaves. **Biosystems Engineering**, London, v. 88, n. 3, p. 325-335, 2004.

DENG, Q.; ZHAO, Y. Physicochemical, nutritional, and antimicrobial properties of wine grape (cv. Merlot) pomace extract-based films. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 3, p. 309-317, 2011.

DE SÁ, M. C.; RODRÍGUEZ-AMAYA, D. B. Optimization of HPLC quantification of carotenoids in cooked green vegetables — Comparison of analytical and calculated data. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 17, p. 37–51, 2004.

DOYMAZ, I.; ISMAIL, O. Drying characteristics of sweet cherry. **Food and Bioproducts Processing**, 2010.

ERENTURK, S.; GULABOGLU, M. S.; GULTEKIN, S. The thinlayer drying characteristics of roseship. **Biosystems Engineering**, Oxford, v.89, n.2, p.159-166, 2004.

EVРАНУZ, E. O. Drying vegetables: new technology, equipment and examples. Em **Handbook of Vegetables and Vegetable Processing**. Ed. Sinha, N. K. Blackwell Publishing Ltd, 2011.

FANTINI, A.P.; CANNIATTI-BRAZACA, S.G.; SOUZA, M.C.; MANSI, D.N. Disponibilidade de ferro em misturas de alimentos com adição de alimentos com alto teor de vitamina C e cisteína. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, 2008.

FARIAS, M. G.; FAKHOURI, F. M.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. P. R. Caracterização físico-química de filmes comestíveis de amido adicionado de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.). **Química Nova**, v. 35, n. 3, p. 546-552, 2012.

FAZAELI, M., EMAM-DJOMEH, Z., ASHTARI, A. K., E OMID, M. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of Black mulberry juice powder. **Food and Bioproducts Processing**. 2012.

FERNANDES, M.S.; WANG, S.H.; ASCHERI, J.L.R.; OLIVEIRA, M.F.; COSTA, S.A.J. Efeito da temperatura de extrusão na absorção de água, solubilidade e dispersibilidade da farinha pré-cozida de milho e soja (70:30). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23, n.2, p. 234-239, 2003.

FERREIRA, MARIA DAS GRAÇAS RODRIGUES & RIBEIRO, GEORGE DUARTE; Coleção de fruteiras tropicais da Embrapa Rondônia. Porto Velho. 2006.

FERREIRA, M. G. R.; RIBEIRO, G. D.; **Coleção de fruteiras tropicais da Embrapa Rondônia**. Comunicado técnico 306 – Porto Velho, RO, 2006.

FILHO, G. L. **Extração de carotenoides de pitanga liofilizada com dióxido de carbono supercrítico**. 2007. 78 f. Dissertação (Mestrado em engenharia de alimentos) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2007.

FONSECA FILHO, A.; ARAÚJO, W.; FALCIROLLI, D.; PILLA, N.; MARQUES, A. Avaliação da qualidade tecnológica de pães enriquecidos com farelo de trigo. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 8, n. 3, p. 17-25, 1997.

FORNY, L., MARABI, A., & PALZER, S. Wetting, disintegration and dissolution of agglomerated water soluble powders. **Powder Technology**(206), 72-78. 2011.

FOUST, A.S.; WENZEL, L.A., CLUMP, C.W. E ANDERSEN, L.B., Princípios das Operações Unitárias, ed. LTC, 2ª ED., Rio de Janeiro – RJ, 1982.

FRANCO, C. M. L., DAIUTO, E. R., DEMIATE, I. M.; CARVALHO, L. J. C. B.; LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F.; SARMENTO, S. B. S. **Propriedades gerais do amido**. Campinas: Fundação Cargill, 224p. 2002.

FREITAS, L. A. P.; ANDRADE, T. C.; TEIXEIRA, C. C. C.; TACON, L. A.; TSUKADA, M. Innovative applications of spray drying. **In: JOSÉ, M. J. S. (Ed.). Advances in Chemical Engineering**, cap. 1, p.1-13, 2010.

GAMA, J.; SYLOS, C. Major carotenoids composition of Brazilian Valencia orange juice: Identification and quantification by HPLC. **Food Research International**, v. 38, p. 899–903, 2005.

GARDENS. MONTOSO. **Mammea americana**. Acesso em: <[http://www.montosogardens.com/mammea\\_americana.htm](http://www.montosogardens.com/mammea_americana.htm)>. Acesso em: 21 jan. 2009.

GOYAL, R. K.; KINGSLY, A. R. P.; MANIKANTAN, M. R.; ILYAS, S. M. Mathematical modeling of thin layer drying kinetics of plum in a tunnel dryer. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 79, p. 176-180, 2007.

GONZÁLEZ, M.J. Orthomolecular oncology review: ascorbic acid and 25 years later [Jornal]: Integrative Cancer Therapies, Vol. 4. 2005.

GUEDES, D. B., RAMOS, A. M., DINIZ, M. D. M. S. Efeito da temperatura e da concentração nas propriedades físicas da polpa de melancia. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 13, n. 4, p. 279-285, 2010.

HASSIMOTO, N. M. A.; GENOVESE, M. I.; LAJOLO, F. M. Antioxidant activity of dietary fruits, vegetables and commercial frozen fruit pulps. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 53, p. 2928-2935, 2005.

HAMANO, P. S.; MERCADANTE, A. Z. Composition of carotenoids from commercial products of caju (*Spondias lutea*). **J. Food Compos. Anal.**, v. 14, p. 335-343, 2001.

HAMINIUK, C. W. I.; SIERAKOWSKI, M. R.; VIDAL, J. R. M. B.; MASSON, M. L. Influence of temperature on the rheological behavior of whole araçá pulp (*Psidium cattleianum sabine*). **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 39, n. 4, p. 427-431, 2006.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory I. Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 6, n. 3, p. 169-174, 1961.

HOFISKY, A. V.; GOMES, J. P.; BARROS NETO, A. L.; SILVA, F. L. H.; ALMEIDA, F. A. C. Cinética de secagem de abacaxi cv pérola em fatias. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grade, v.11, n. 2, p. 123-128, 2009.

HUANG, D.; OU, B.; PRIOR, R. L. The chemistry behind antioxidant capacity assays – review. **Journal Agriculture and Food Chemistry**, v. 53, p. 1841-1856, 2005.

INCROPERA, F. P., DEWITT, D. P., BERGMAN, T. L., LAVINE, A. S. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (6th ed., Chapter 12). **John Wiley & Sons, Inc.** 2007.

INSTITUTE OF MEDICINE. **Dietary reference intakes for vitamin C, vitamin E, selenium, and carotenoids: Food and Nutrition Board.** Washington: National Academy Press; 2000.

IQBAL, K.; KHAN, A. E KHATTAK, M. M. Biological significance of ascorbic acid (vitamin C) in human health - a review [Jornal]: *Pakistan Journal of Nutrition*, Vol. 3. 2004.

JANGAM, S. V.; MUJUMDAR, A. S. **Drying of Foods, Vegetables and Fruits - Volume 1.** Ed. Jangam, S. V.; Law, C. L.; Mujumdar, A. S. Singapura, 2010.

JAYA, S., DAS, H. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powders properties. **Journal of Food Engineering**, v. 63, p. 125-134. 2004.

KAHYAOGLU, L. N.; SAHIN, S.; SUMNU, G. Physical properties of parboiled wheat and bulgur produced using spouted bed and microwave assisted spouted bed drying. **Journal of Food Engineering**, v. 98, n. 2, p. 159-169, 2010.

KARIM, M. A. and HAWLADER, M. N. A. "Drying characteristics: Theoretical modeling and experimental validation", **Journal of Food Engineering**, Vol. 70, n. 4, p. 35-40. 2005.

KEEY, R.B. **Moisture: solid relationships. Drying principle and practices.** Oxford, p.19-49. 1972.

KIRANOUDIS, C. T., TSAMI, E., MAROULIS, Z. B., MARINOS-KOURIS, D. "Drying kinetics of some fruits", **Drying technology**, Vol.15, p. 1399-1418. 1997.

KUSKOSKI, E. M. ASUERO, A.G; TRONCOSO, A.M.; FILHO, J.M.; FETT, R.; Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante em pulpa de frutos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. v. 25, n. 4, p. 726-732. 2005.

LAITINEN, O. H.; HYTOPNEN, V. P.; AHLROTH, M. K.; PENTIKAINEN, O. T.; GALLACHER, C.; NORLUND, H. R.; OVD, V.; MARTILLA, A. T.; PORKKA, E.; HEINO, S.; JOHNSON, M. S.; AIRENNE, K. J.; KULOMAA, M. S. Chicken avidin-related proteins show altered biotin-binding and physico-chemical properties as compared with avidin. **Biochem Journal**, v. 363, p. 609–617, 2002.

LANE, J. H.; EYNON, L. Determination of reducing sugars by Fehling's solution with methylene blue indicator, London: **Norman Rodge**. 1984.

LEE, H. S.; COATES, G. A. Vitamin C in frozen, fresh squeezed, unpasteurized, polyethylene-bottled orange juice: a storage study. **Food Chemistry**, v. 65, n. 2, p.165-168, May 1999.

LEONEL, M.; MARTINS, J. C.; MISCHAN, M. M. Produção de *snacks* funcionais à base de farinha de soja e polvilho azedo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 6, 2010.

LESSIN, W.; CATIGANI, G.; SCHWARTZ, S. Quantification of cis–trans isomers of provitamin A carotenoids in fresh and processed fruits and vegetables. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, p. 3728–3732, 1997.

LEVINE, M.; RUMSEY, S.C.; DARUWALA, R.; PARK, J.B.; WANG, Y. Criteria and recommendations for vitamin C intake. **JAMA**, v. 281, n. 15, 1999.

LIMA, L. A. G.; MÉLO, E. A.; LIMA, L. S.; NASCIMENTO, P. P. caracterização físico-química e sensorial de pintanga roxa. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal – SP, v.22, p. 282-385, 2000.

MACHADO, V. G. **Obtenção de tomate em pó por atomização: influência das variáveis de processo na qualidade do produto**. 2010. 126 f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas/SP, 2010.

MADAMBA, P.S.; DRISCOLL, R.H.; BUCKLE, K.A. **The thin-layer drying characteristics of garlic slices**. *Journal of Food Engineering* v.29, p.75-97, 2008.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. Thin-layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 29, n. 1, p. 75-97, 1996.

MAGALHÃES, L. A. M.; LIMA, M.P.; MARINHO, H.A.; FERREIRA, A.G.; Identificação de bergenia e carotenóides no fruto de uchi (*Endopleura uchi*, Humiriaceae). **Acta Amazonica**(Online). Vol. 37 p. 447 – 450, 2007.

MAIA, L.H.; WANG, S. H.; ASCHERI, J. L. R.; CABRAL, L. C.; FERNANDES, M. S. Viscosidade de pasta, absorção de água e índice de solubilidade em água dos mingaus desidratados de arroz e soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 19, n. 3, p.391-396, 1999.

MANACH, C.; SCALBERT, A.; MORAND, C.; RÉMÉSY, C.; JIMÉNEZ, L. Polyphenols: food sources and bioavailability. **The American Journal of Clinical Nutrition.**, v. 79, p. 727-747, 2004.

MARINHO, H. A.; CASTRO, J. S. Carotenóides e valor de pró-vitamina A em frutos da região amazônica: pajurá, piquiá, tucumã e umari. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 17, 2002, Belém. **Anais...** Belém: Meio magnético, 2002. CD Room.

MAROULIS, Z. B., KIRANOUDIS, C. T., MARINOS-KOURIS, D. "Heat and Mass Transfer Modeling in air Drying of Foods", **Journal of Food Engineering**, Vol. 26, p. 113-130. 1995.

MARQUES, L. G. e FREIRE, J. T. "Analysis of freeze-drying of tropical fruits", **Drying Technology**, 24(4), 2005.

MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; MELO, E. C.; BARBOSA, F. F. Difusividade efetiva em folhas de *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf submetidas à secagem com diferentes comprimentos de corte e temperaturas do ar. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 9, p. 68-72, 2007.

MARTINEZ. M. O.; AYERDI. S. S.; ACEVEDO. E. A.; GOÑI. I.; PÉREZ. L. A. B. Unripe banana flour as an ingredienty to increase the undigestible carbohydrate of pasta. **Food Chemistry**, Canadá, v. 113, p.121-126, 2009.

MARTINS, M. Açúcar invertido: Propriedades e aplicações. **Resvista Food Ingredientes: Guia 2001 Fornecedores**, p. 97, 2001.

MATSUURA, F.C.A.U; ROLIM, R.B. Avaliação da adição de suco de acerola em suco de abacaxi visando à produção de um "blend" com alto teor de vitamina C. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, São Paulo, v. 24, n. 1, Abril, 2002.

MATTA JUNIOR, M. D.; SARMENTO, S. B. S.; SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; ZOCCHI, S. S. Propriedades de Barreira e Solubilidade de Filmes de Amido de Ervilha Associado com Goma Xantana e Glicerol. **Polímeros**, São Carlos, v. 21, n. 1, p. 1- 6, 2011.

MCHUGH, T. H.; OLSEN, C. W. Tensile properties of fruit and vegetable edible films. **In: Annual Meeting and Food Expo**, Anaheim, California. 2002.

MCGUIRRE, R.G. Reporting of objective color measurements, **HortScience**, v.27, p. 1254-1255, 1992.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAZ, Z. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, New York, v. 20, n. 7, p. 1503-1513, 2002.

MEDEIROS, M. F. D.; ROCHA, S. C. S.; ALSINA, O. L. S.; JERÔNIMO, C. E. M.; MEDEIROS, U. K. L.; DA MATA, A. L. M. L. Drying of pulps of tropical fruits in spouted

bed: effect of composition on dryer performance. **Drying Technology**, v. 20, n. 4/5, p. 855-881, 2002.

MIKLI, V.; KAERDI, H.; KULU, P.; BESTERCI, M. Characterization of powder particle morphology. **Estonian Academy Scienc Engineering**, v. 7, p. 22-34, 2001.

MINOLTA. **Precise color communication: color control from perception to instrumentation**. Japan: Minolta Co.Ltda, p. 57, 1998.

MOREIRA, R., CHENLO, F.; VÁSQUEZ, M.J.; CAMEÁN, P. Sorption isotherms of turnip top leaves and stems in the temperature range from 298 to 328K. **Journal of Food Engineering**, v.71, n.2, p.193-199, 2005.

MORTON, J. F. **Fruits of warm climates**. Miami: Creative Resource Systems, 1987. 505 p.

MOTA, R.V. Avaliação da qualidade de banana passa elaborada a partir de seis cultivares. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, vol. 25, n.3, 2005.

MOURA, L.S.M.; ASCHERI, J.L.R; SILVA, C.C.O; MORO, T.M.A; CARVALHO, J.L.V; NUTTI, M .R. Propriedades de Absorção e Solubilização de Extrudados de Farinha Mista de Feijão, Milho e Arooz Biofortificados. IV Reunião de biofortificação. Teresina-Pi, 2011.

MOYERS, C.G. E BALDWIN, G.W., Solids Drying Fundamentals, In: PERRY, R. H. & GREEN, D.W., **Chemical Engineers' Handbook**, Ed. Mc Graw-Hill Companies, ed. 7ª, Sec. 12-25, 1999.

NAGATANI, T.; SAITO S.; SATO, M.; YAMADA, M. Development of an ultra high resolution scanning electron microscope by means of a field emission source and in-lens system. **Scanning Microscopy**. v.11, p. 901-909, 1987.

NIAMNUY, C.; DEVAHASTIN, S.; SOPONRONNARIT, S.; RAGHAVAN, G. S. V. Modeling coupled transport phenomena and mechanical deformation of shrimp during drying in a jet spouted bed dryer. **Chemical Engineering Science**, v. 63, n. 22, p. 5503-5512, 2008.

NINDO, C. I.; FENG, H.; SHEN, G. Q.; TANG, J.; KANG, D. H. Energy utilization and microbial reduction in a new film drying system. **Journal of Food Processing Preservation**, 27, 117-136, 2003a.

NINDO, C. I.; POWERS, J. R.; TANG, J. Influence of *Refractance Window* evaporation on quality of juices from small fruits. **Swiss Society of Food Science and Technology**, LWT 40, 2007.



NINDO, C. I.; SUN, T.; WANG, S. W.; TANG, J.; POWERS, J. R. Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L.). **Swiss Society of Food Science and Technology**, 36, 507–516, 2003b.

NINDO, C. I.; TANG, J. *Refractance Window* dehydration technology: a novel contact drying method. **Drying Technology**, 25, 37-48, 2007.

NINDO, C. I., TANG, J., POWERS, J. R., E BOLLAND, K. Energy consumption during *Refractance Window*® evaporation of selected berry juices . **International Journal of Energy Research**, 2004.

OCHOA-MARTÍNEZ, C. I., QUINTERO, P. T., AYALA, A. A., ORTIZ, M. J. Drying characteristics of mango slices using the *Refractance Window*™ technique. **Journal of Food Engineering**, 2012.

OCORÓ-ZAMORA, M. U.; AYALA-APONTE, A. A. Influence of thickness on the drying of papaya puree (*Carica papaya* L.) through *Refractance Window* technology. **Dyna**, v. 80, n. 182, p. 147-154, 2013.

OLIVEIRA, O. W.; PETROVICK, P. R. Secagem por aspersão (*spray-drying*) de extratos vegetais: bases e aplicações. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, n. 4, p. 641-650, 2010.

ORDÓÑEZ, Juan A. et al. Tecnologia de alimentos. **Porto Alegre: Artmed**, v. 2, p. 219-239, 2005.

OZDEMIR, M.; DEVRES, Y. O. The thin-layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. **Journal of Food Engineering**, v. 42, p. 225-233, 1999.

PAGE, G. E. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers**. 1949. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Department of Mechanical Engineering, Purdue University, Purdue, USA, 1949.

PANDOFELLI, V. C. et al. Dispersão e empacotamento de partículas, princípios e aplicações em processamento cerâmico. São Paulo: Fazendo Arte, 2000.

PARRA, D. F.; TADINI, C. C.; PONCE, P.; LUGÃO, A. B. Mechanical properties and water vapor transmission in some blends of cassava starch edible films. **Carbohydrate Polymers**, v. 58, n. 4, p. 475–481, 2004.

PARK, K.J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Drying of pear d'Anjou with and without osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 56, p. 97-103, 2002.

PARK, H. J.; CHINNAN, M. S. Gas and water vapor barrier properties of edible films from protein and cellulosic materials. **Journal of Food Engineering**, v. 25, n. 4, p. 497-507, 1995.

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*pyrus* sp.) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001.

PASSOS, M.L.; MUJUMDAR, A.S. Effect of cohesive forces on fluidized and spouted beds of wet particles, **Powder Technology**, v. 110, 2000.

PAVAN, M. A.; SCHMIDT, S. J.; FENG, H. Water sorption behavior and thermal analysis of freeze-dried, Refractance Window-dried and hot-air dried açai (*Euterpe oleracea* Martius) juice. **LWT - Food Science and Technology**, v. 48, p. 75-81, 2012.

PELAIS, A. C. A.; ROGEZ, H.; PENA, R. da S. Estudo da pasteurização da polpa de muruci. **Alim. Nutr.**, v. 19, n. 1, p. 17-24, 2008.

PELEGRINE, D.H.; VIDAL, J.R.M.B.; GASPARETTO, C.A. Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (*Keitt*) e abacaxi (Pérola). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.20, n.1, p.128-131, 2000.

PELEGRINE, D. H.; GASPARETTO, C. A. Rheological behavior of pineapple and mango pulps. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie Food Science and Technology**, Berlin, v. 35, p. 645-648, 2002.

PENA, R.S.; SILVA, D.M.S.; MENDONÇA, N.B.; ALMEIDA, M.D.C.; Estudo da secagem da fibra residual do maracujá. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 2, n. 1, p. 1-13, 2008.

PEREDA, M.; AMICA, G.; MARCOVICH, N. E. Development and characterization of edible chitosan/olive oil emulsion films. **Carbohydrate Polymers**, v. 87, n. 2, p. 1318-1325, 2012.

PÉREZ-MATEOS, M.; MONTERO, P.; GÓMEZ-GUILLÉN, M. C. Formulation and stability of biodegradable films made from cod gelatin and sunflower oil blends. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 1, p. 53-61, 2009.

PODSEDEK, A. Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. **LWT-Food Science Technology**, v. 40, p. 1-11, 2007.

PRIOR, R.; WU, X.; SCHAICH, K. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 53, n. 10, p. 4290-4302, 2005.

RAHMAN, S. **Food Properties Handbook**. CRC Press. 1995.

RAO, A. M. **Rheology of fluid and semisolid fluids: principles and applications**, 1ª.edição. Maryland: An Aspen Publication, 1999.

REINECCIUS, G.A. Multiple-core encapsulation – the spray drying of food ingredients. In P. Vilstrup (Ed). **Microencapsulation of Food Ingredients**. Leatherhead Publishing, Surrey, U.K. 2001.

RESENDE, O.; ARCANJO, R. V.; SIQUEIRA, V. C.; RODRIGUES, S. Modelagem matemática para a secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiro de concreto. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 189-196, 2009.

RIBEIRO, E.P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. Instituto Mauá de tecnologia. Editora Edgard Blücher Ltda, v. 1, p. 155-157, 2004.

RIGO, L. N. Desenvolvimento e caracterização de filmes comestíveis. Dissertação de Mestrado – Universidade Regional Integrada do Alto do Uruguai e das Missões, Erechim (RS), 2006.

RODRIGUES-AMAYA, D.B. A Guide to Carotenoids Analysis in food, OMNI Rsearch, ILSI Human Nutritional Institute, Washington. 2001.

RODRIGUES, A.M.C.; BEZERRA, C.V.; SILVA, I.Q.; SILVA, L.H.M.; Propriedades Reológicas do Suco de Buriti (*Mauritia flexuosa*), **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v.38, n. 1. 176-186, Fevereiro, 2016.

ROSA, J.S.; GODOY, R.L.O.; OIANO NETO, J.; CAMPOS, R.S.; MATTA, V.M.; FREIRE, C.A.; SILVA, A.S.; SOUZA, R.S. Desenvolvimento de um método de análise de vitamina C em alimentos por cromatografia líquida de alta eficiência e exclusão iônica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, 2007.

ROSSO, V. V.; MERCADANTE, A. Z. Identificación and quantification of carotenoids, by HPLC-PDA-MS/MS, from Amazonian fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 55, p. 5062-5072, 2007.

RUFINO, M.S.M.; ALVES, R.E.; BRITO, E. S.; MORAES, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PEREZ-JIMENEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas Pela Captura do Radical Livre ABTS. Embrapa Agroindústria Tropical: Comunicado Técnico 127. Fortaleza-CE, p.4, 2007.

SANTOS, M.G.; MAIA, A.G.; SOUSA, P.H.M. FIGUEIREDO, R. W.; COSTA, J. M.C.; FONSECA, A.V.V. Atividade antioxidante e correlações com componentes bioativos de produtos comerciais de cupuaçu. **Ciencia Rural [online]**. vol.40, n.7, Julho, 2010.  
SCHRAMM, G. **Reologia e reometria: fundamentos teóricos e práticos**, 2. ed. Karlsruhe: Artliber, 2006.

SENTANIN, M.A; AMAYA, D.B.R. Teores de carotenóides em mamão e pêssego determinados por cromatografia líquida de alta eficiência. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.27, n., p.13-19, 2007.

SHIH, F. F. Edible films from rice protein concentrate and pullulan. **Cereal Chemistry**, v.73, n. 3, p. 406–409, 1996.

SIEGEL, R., & HOWELL, J. R. *Thermal Radiation Heat Transfer*. Mcgraw-Hill Kogakusha, Ltd. 1972.

SILVA, D. F. P.; CABRINI, E. C.; ALVES, R. R.; SALOMÃO, L.C.C. Uso do ácido ascórbico no controle do escurecimento do pericarpo de lichia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 618-627, 2010.

SILVA, E. M. et al. Antioxidant activities and polyphenolic contents of fifteen selected plant species from the Amazonian region. **Food Chemistry**. v. 101, p. 1012-1018, 2007.

SILVA, F. C. da.; GUIMARÃES, D. H. P.; GASPARETTO, C. A. Reologia do suco de acerola: efeitos da concentração e temperatura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 121-126, 2005.

SINGH, J.; SINGH, N.; SHARMA, T. R.; SAXENA, S. K. Physicochemical, rheological and cookie making properties of corn and potato flours. **Food Chemistry**, London, v. 83, p. 387-393, 2003.

SOUZA, A. P. **Comportamento higroscópico, avaliação físico-química e mineral do preparo sólidos para refresco nos sabores manga, laranja maracujá e abacaxi**. Ceará. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2007. Dissertação (Mestrado).

SOUZA FILHO, M.S.M. et al. Efeito do branqueamento, processo osmótico, tratamento térmico e armazenamento na estabilidade da vitamina C de pedúnculos de caju processados por métodos combinados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.19, n.2, 1999.

SOUZA, S. M. A. Elaboração e caracterização de filmes comestíveis biodegradáveis a base de proteínas miofibrilares de origem bovina. Tese de Doutorado – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 2001.

SPITZNER NETO, P.I.; CUNHA, F.O.; FRIERE, J.T. Effect of the presence of paste in a conical spouted bed dryer with continuous feeding. *Drying Technology*. V.20. 2002.

STEFFE, J. F. **Rheological methods in food process engineering**, 2ª. edição. Michigan: Freeman press, 1996.

TACO. Tabela brasileira de composição de alimentos / NEPA – UNICAMP.- 4. ed. rev. e ampl.. -- Campinas: NEPAUNICAMP, 2011.

TAVARES, J.T.Q; SILVA, C.L/ CARVALHO, L.A.; SILVA, M.A.; SANTOS, C.M.G. Estabilidade do ácido ascórbico em suco de laranja submetido a diferentes tratamentos. *Magistra*, Cruz das almas-BA, v.12, n.1/2, 2000.

TAVERNA, L. G.; LEONEL, M.; URBANO, L. H. Desenvolvimento de biscoitos funcionais de polvilho azedo e quinoa por extrusão. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 22., 2010, Marília. **Anais...** Disponível em: CD ROM.

TOGRUL, I. T.; PEHLIVAN, D. Mathematical modeling of solar drying of apricots in thin layers. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 55, p. 209-216, 2002.

TONGDEESOONTORN, W.; MAUER, L. J.; WONGRUONG, S.; SRIBURI, P.; RACHTANAPUN, P. Effect of carboxymethyl cellulose concentration on physical properties of biodegradable cassava starch-based films. **Chemistry Central Journal**, v. 5, n. 6, p. 1–8, 2011.

TONON, R. V., ALEXANDRE, D., HUBINGER, M. D., CUNHA, R. L. Steady and dynamic shear rheological properties of acai pulp (*Euterpe oleracea* Mart.). **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 1, p. 425-431, 2009.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, 2008.

TOPUZ, A.; FENG, H.; KUSHAD, M. The effect of drying method and storage on color characteristics of paprika. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, 2009.

TOPUZ, A.; DINCER, C.; ÖZDEMİR, K. S.; FENG, H.; KUSHAD, M. Influence of different drying methods on carotenoids and capsaicinoids of paprika (Cv., Jalapeno). **Food Chemistry**, v. 129, p. 860–865, 2011.

TORRES, L. L. G.; EL-DASH, A. A.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R.; GERMANI, R.; MIGUEZ, M. Efeito da umidade e da temperatura no processamento de farinha de banana verde (*Musa acuminata*, Grupo AAA) por extrusão termoplástica. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Curitiba, v. 23, n. 2, p. 273-290, 2005.

VENDRÚSCOLO; A. T. **Comportamento reológico e estabilidade física de polpa de carambola** (*Averrhoa carambola L.*). 2005. 90 f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico. Florianópolis/SC, 2005.

VERMA, L.R.; BUCKLIN, R.A.; ENDAN, J.B.; WRATTEN, F.T. Effects of drying air parameters on rice drying models. **Transactions of the ASAE**, v.28, p.296-301, 1985.

VIDAL, J. R. M. B.; PELEGRINE, D. H.; GASPARETTO, C. A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga (*mangifera indica L-Keitt*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 1, p. 039-042, 2004.

VANDRESEN, S., QUADRI, M. G. N., SOUZA, J. A. R. de., HOTZA, D. Temperature effect on the rheological behavior of carrot juices. **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 1, p. 269-274, 2009.

VASCO, C.; RUALES, J.; KAMAL-ELDIN, A. Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. **Food Chemistry**. 111(4):816-23. 2008.

VIEIRA, M.C. Mathematical modeling of the thermal degradation kinetics of vitamin C in cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) nectar. **Journal of Food Engineering**, v.43, n.1, p.1-7, 2000.

VODOVOTZ, Y.; BOURLAND, C. Preservation methods utilized for space food. 2002.

WADA, M.; KIDO, H.; OHYAMA, K.; ICHIBANGASE, T.; KISHIKAWA, N.; OHBA, Y.; NAKASHIMA, M. N.; KURODA, N.; NAKASHIMA, K. Chemiluminescent screening of quenching effects of natural colorants against reactive oxygen species: Evaluation of grape seed, monascus, gardênia and red radish extracts as multi-funcional food additives. **Food Chemistry**, v. 101, p. 980-986, 2007.

WANG, Z.; SUN, J.; LIAO, X.; CHEN, F.; ZHAO, G.; WU, J.; HU, X. Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. **Food Research International**, Toronto, v. 40, p. 39-46, 2007.

WALTON, D.E. The morphology of spray-dried particles a qualitative view. **Drying Technology**, v.18, n.9, p.1943-1986, 2000.

WELTY, J. R. *Engineering Heat Transfer*. **John Wiley & Sons, Inc.** 1974.

WILSON, J. X. Regulation of vitamin C transport [Jornal]: *Annu. Rev. Nutr.*, Vol.25. 2005.

YALDIZ, O.; ERTEKIN, C.; UZUM, H. I. Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Energy*, Oxford, v. 26, P. 457-465, 2001.

YAMAGUISHI, C. T. **Processo biotecnológico para a produção de feijão desidratado com baixo teor de oligossacarídeos da família rafinose**. 147 p. Dissertação (Mestre em Processos Biotecnológicos). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

YUYAMA, L. K. O. et al. Biodisponibilidade dos carotenóides do buriti (*Mauritia fl exuosa* L.) em ratos. *Acta Amazônia*, v. 28, n. 4, p. 409-415, 1998.

YUYAMA, L. K. O. et al. Processamento e avaliação da vida-de-prateleira do tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) desidratado e pulverizado. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 28, n. 2, p. 408-412, 2008.

ZANATTA, C. F.; MERCADANTE, A. Z. Carotenoid composition from the Brazilian tropical fruit camu-camu (*Myrciaria dubia*). *Food Chemistry*. v. 101, p. 1526-1532, 2007.

ZAVAREZE, E.R.; HALAL, S.L.M.; TELLES, A.C.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C. Filmes biodegradáveis à base de proteínas miofibrilares de pescado. *Brazilian Journal of Food Technology*. p. 53-57. 2012.

ZOTARELLI, M. F.; CARCIOFI, B.A.M.; LAURINDO, J.B. Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by Refractance Window. *Food Research International*. Vol. 69, p. 410-417. 2015.

ZULETA, A.; ESTEVE, M. J.; FRASQUET, I.; FRÍGOLA, A. Vitamin C, vitamin A, phenolic compounds and total antioxidant capacity of new fruit juice and skim milk mixture beverages marketed in Spain *Food Chemistry*, v. 103, p. 1365-1374, 2007.