

# Frutas

Coleção Frutas  
Estudos Avançados  
v.1



**VIRGÍNIA MIRTES DE ALCÂNTARA SILVA  
NEWTON CARLOS SANTOS  
RAPHAEL LUCAS JACINTO ALMEIDA  
VICTOR HERBERT DE ALCÂNTARA RIBEIRO**

***Coleção Frutas: Estudos Avançados***  
***v.1***

C6929 Coleção Frutas: Estudos Avançados v.1/Autores: Silva et al.

— Campina Grande: EPTEC, 2021.  
53 f.: il. color.

ISBN: 978-65-00-18759-5

1. Modelagem matemática. 2. Frutas. 3. Cinética de secagem, 4. Ultrassom. 5. Propriedades físico-químicas. I. Silva, Virgínia Mirtes de Alcântara. II. Santos, Newton Carlos. III. Almeida, Raphael Lucas Jacinto. IV. Ribeiro, Victor Herbert de Alcântara. V. Título.

CDU 62

Os capítulos ou materiais publicados são de inteira responsabilidade de seus autores. As opiniões neles emitidas não exprimem, necessariamente, o ponto de vista do Editor responsável. Sua reprodução parcial está autorizada desde que cite a fonte.



### **Créditos de Imagens da Capa**

Pixabay

### **Editoração, Revisão e Arte da Capa**

Paulo Roberto Megna Francisco

### **Conselho Editorial**

Djail Santos (CCA-UFPB)  
Dermeval Araújo Furtado (CTRN-UFCG)  
George do Nascimento Ribeiro (CDSA-UFCG)  
Josivanda Palmeira Gomes (CTRN-UFCG)  
João Miguel de Moraes Neto (CTRN-UFCG)  
José Wallace Barbosa do Nascimento (CTRN-UFCG)  
Juarez Paz Pedroza (CTRN-UFCG)  
Lúcia Helena Garófalo Chaves (CTRN-UFCG)  
Luciano Marcelo Fallé Saboya (CTRN-UFCG)  
Paulo da Costa Medeiros (CDSA-UFCG)  
Paulo Roberto Megna Francisco (CTRN-UFCG)  
Soahd Arruda Rached Farias (CTRN-UFCG)  
Virgínia Mirtes de Alcântara Silva (CTRN-UFCG)

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva  
Newton Carlos Santos  
Raphael Lucas Jacinto Almeida  
Victor Herbert de Alcântara Ribeiro

# ***Coleção Frutas: Estudos Avançados*** ***v.1***



1.a Edição  
Campina Grande-PB  
2021

## Realização



## Apoio



Universidade Federal  
de Campina Grande



**UEPB**  
Universidade Estadual da Paraíba

## Sumário

<i>Agradecimentos</i> .....	6
<i>Prefácio</i> .....	7
<i>Capítulo I</i> .....	9
<i>INFLUÊNCIA DO TEMPO DE SONICAÇÃO NA CINÉTICA DE SECAGEM DE FATIAS DE GOIABA (Psidium guajava)</i> .....	9
<i>Capítulo II</i> .....	19
<i>INFLUÊNCIA DA MALTODEXTRINA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO PÓ DE JAMBO (Syzygium malaccensis) LIOFILIZADO</i> .....	19
<i>Capítulo III</i> .....	29
<i>DETERMINAÇÃO DA DIFUSIVIDADE, ENERGIA DE ATIVAÇÃO E PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DO PROCESSO DE SECAGEM DA CASCA DO ACHACHAIRU (Garcinia humilis)</i> .....	29
<i>Capítulo IV</i> .....	39
<i>PARÂMETROS CINÉTICOS DURANTE O PROCESSO DE SECAGEM DA CASCA DE ABACAXI (ANANAS COMOSUS L. MERRYL)</i> .....	39
<i>Curriculum dos Autores</i> .....	51

## ***Agradecimentos***

Agradecemos a Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Programa de Pós graduação em Engenharia Química pela seriedade com o desenvolvimento das pesquisas, a Universidade Estadual da Paraíba - Departamento de Química do Centro de Ciências e Tecnologia pelo apoio incondicional e a Universidade Federal de Campina Grande – Unidade de Engenharia de Alimentos pela utilização dos laboratórios e pela realização dessa obra. Nosso agradecemos em especial ao Professor Afonso Peche Filho pelas orientações no decorrer de todo o trabalho. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão das bolsas de mestrado e doutorado aos autores.

***Os autores***

## ***Prefácio***

Esta obra é fruto da sinergia de uma equipe que idealizou organizar em vários volumes pesquisas sobre tecnologias convencionais e emergentes para preservação de alimentos que têm sido amplamente utilizadas na indústria de alimentos. Com relação as tecnologias emergentes estão sendo amplamente aprimoradas para garantir alimentos nutritivos e de qualidade são elas: altas pressões hidrostáticas, aquecimento ôhmico, infravermelho, irradiação, liofilização, micro-ondas, plasma frio, pulso elétrico, separação por membranas, spray-dryer, ultravioleta entre outras.

A matéria-prima escolhida para essa coleção foram as frutas devido a presença de compostos bioativos, entre eles antioxidantes e fibras. Os compostos bioativos estão presentes em pequenas quantidades principalmente em frutas, legumes e grãos integrais, são moléculas que podem apresentar potencial terapêutico com influência na ingestão de energia, ao mesmo tempo em que reduzem o estado pró-inflamatório, o estresse oxidativo e as desordens metabólicas.

Assim, a nossa preocupação durante o desenvolvimento das pesquisas apresentadas nessa edição foi elaborar um material de qualidade e as frutas escolhidas para essas pesquisas foram o achachariu, a goiaba, o jambo e a casca de abacaxi, devido as especificidades de suas características. Sabemos que as frutas possuem uma alta quantidade de água tornando-as perecíveis e propiciando mudanças bioquímicas e por fim o desenvolvimento de microrganismos, assim a segurança desses produtos aumentam quando a atividade de água decresce.

A atividade de água indica a sua disponibilidade de agir como solvente interagindo nas transformações químicas, bioquímicas e microbiológicas, ou seja, representa o grau de ligação da água contida no produto. Assim, a atividade de água ( $A_w$ ) é um fator determinante para a conservação, dentre outros fatores como a composição química da fruta (presença de nutrientes), o pH, o potencial de oxirredução ( $E_h$ ), a presença de inibidores antimicrobianos naturais e a estrutura biológica da matéria-prima.

Os valores mínimos de atividade de água ( $A_w$ ) para o crescimento de bactérias é inferior a 0,90, fungos 0,80 e leveduras 0,87, assim quanto menor for a atividade de água do alimento



mais tempo de vida útil ele terá. Outro fator é a acidez, pois o pH das matérias-primas é um fator usado para determinar o método de conservação, pois cada microrganismos patogênicos e/ou deteriorantes tem uma determinada faixa favorável de pH para seu crescimento.

Portanto, é preciso reduzir a atividade de água é utilizado processos baseados na vaporização, sublimação, remoção de água por solventes ou na adição de agentes osmóticos. Desse modo, a secagem é considerada uma das mais importantes operações unitárias na área de engenharia de alimentos e a cinética de secagem, ou seja, a velocidade que o alimento perde umidade permite descrever o comportamento de transferência de calor e massa entre o material e o ar de secagem.

A cinética de secagem abordada em todos os capítulos foi ajustada aos principais modelos empíricos da literatura, os quais através dos coeficientes de determinação apresentaram ajustes satisfatórios para todas as frutas pesquisadas. A secagem dos materiais biológicos é complexa e a interação dos fenômenos físico-químicos existentes durante o processo de secagem, faz com que haja na literatura proposições de equações baseadas no modelo empírico para descrever a taxa de secagem.

Nos capítulos, para ajustar as curvas de secagem utilizamos vários modelos matemáticos entre eles o modelo de Dois Termos, o de Henderson e Pabis, o de Lewis, o de Page e o de Page Modificado para ajustar as curvas de secagem. Portanto percebe-se a importância da modelagem matemática para descrever a influência de cada variável no processo, estimando a difusividade da água e determinando as taxas decrescentes com a utilização da segunda lei de Fick.

Esta obra foi escrita por doutores com formação em Biologia, Química Industrial, Engenharia Química e Agroecologia, com doutorado em Engenharia de Processos, Engenharia Química, Ciências de Alimentos e Engenharia e Gestão de Recursos Naturais.

Desse modo, todos os pesquisadores envolvidos nessa primeira edição sentem-se realizados, pois a pesquisa visa auxiliar os estudantes dos cursos de Engenharia de Alimentos, Ciências Agrárias, Agroecologia, Engenharia Agrícola, Agronomia e Tecnólogos dessas ciências e essa edição representa um significativo instrumento de aplicação para o Estado da Paraíba e para o País. Os organizadores deste livro agradecem a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para concretização desta obra.

***Dr. Afonso Peche Filho***

***Eng. Agrônomo - IAC***

## Capítulo I

# **INFLUÊNCIA DO TEMPO DE SONICAÇÃO NA CINÉTICA DE SECAGEM DE FATIAS DE GOIABA (*Psidium guajava*)**

**Virgínia Mirtes de Alcântara Silva  
Newton Carlos Santos  
Raphael Lucas Jacinto Almeida  
Victor Herbert de Alcântara Ribeiro  
Ângela Maria Santiago  
Mércia Melo de Almeida Mota**

### **Introdução**

A goiaba (*Psidium guajava*) pertence à família Myrtaceae é uma fruta tropical, amplamente cultivada em países tropicais e subtropicais (DAKAPPA et al., 2013). É rica em antioxidantes, vitamina C, pectina, fibra alimentar e polifenóis, sendo consumida principalmente na sua forma fresca.

Possui muitos antioxidantes e fitoquímicos, incluindo óleos essenciais, polissacarídeos, minerais, vitaminas, enzimas e alcóides triterpenóides, esteroides, glicosídeos, taninos, flavonoides e saponinas (SMITCH et al., 2013). O ácido ascórbico e o ácido cítrico são os principais ingredientes da goiaba que desempenham papel importante na atividade antimutagênica (GROVER et al., 1993). Seus frutos mostram a presença de umidade (77-86%), fibra bruta (2,8-5,5%), proteína (0,9-1,0%), gordura (0,1-0,5%), cinzas (0,43-0,7%), carboidratos (9,5-10%), minerais e vitaminas. (WANG et al., 2014)

No entanto, devido à sua natureza perecível, a aplicação de um método de preservação é vital para reter os valores nutritivos e para melhor comercialização (CHEN & YEN, 2007; ASHA et al., 2013; TRAN et al., 2020; GHALATI et al., 2020).

As frutas recém-colhidas geralmente têm alto teor de água. A água fornece condições para cultivar e reproduzir micro-organismos, causando danos irreversíveis aos produtos. Portanto, reduzir o teor de umidade e a perda de nutrientes usando métodos convencionais de preservação é uma alternativa para melhor aproveitamento dos frutos. A secagem baseada no uso do ar quente, é o método mais amplamente utilizado para preservar e obter produtos secos, no entanto, as altas temperaturas aplicadas durante a secagem podem causar a degradação da qualidade do produto. Mesmo assim, diferentes tecnologias emergentes ou técnicas combinadas estão sendo usadas para melhorar e otimizar esses processos (MUSIELAK et al., 2016; HUANG et al., 2020).

O ultrassom tem sido extensivamente aplicado em vários processos alimentares, devido aos seus atributos potentes, que resultam em um notável aprimoramento da transferência de massa e calor. A aplicação do ultrassom nos processos de secagem pode ser considerada uma ajuda eficaz para a preservação de frutas. Os efeitos mecânicos e de cavitação do ultrassom são responsáveis pela redução das resistências de difusão internas e externas dos materiais na transferência de massa durante a secagem e, como resultado, a taxa de secagem pode ser melhorada, e como consequência, a redução do tempo de secagem, reduzindo gastos energético (CHANDRAPALA et al., 2012; TAO et al., 2018; GUO et al., 2020).

Através da cinética de secagem, é possível determinar o comportamento do material seco, representando-o por curvas de secagem e taxas de secagem. Vários modelos matemáticos foram usados para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas e determinar informações do processo, que podem ser usadas em projetos futuros de equipamentos (SILVA et al., 2010; MENEGHETTI et al., 2012; MENEZES et al., 2013; SILVA et al., 2018).

Várias pesquisas foram realizadas com o objetivo de estudar a cinética de secagem utilizando o ultrassom para diversas frutas: acerola (DA COSTA et al., 2020); abacaxi (RANI et al., 2019); melão (LIU et al., 2017); abacate (OLIVEIRA et al., 2016); maçãs (SABAREZ et al., 2012) e jambo (OLIVEIRA et al., 2010).

Neste contexto, visando estudar uma alternativa para reduzir as perdas pós-colheita da goiaba, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência do tempo de sonicação na cinética de secagem de fatias circulares de goiabas em forno elétrico.

## Material e Métodos

As goiabas (*Psidium guajava*) foram adquiridas no comércio local da cidade de Campina Grande, Paraíba, Brasil. As mesmas, foram selecionadas (frutos maduros, inteiros, sem lesões na casca), em seguida transportadas para o Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), sendo realizadas as etapas de limpeza, higienização, sanitização em solução de hipoclorito de sódio (200 mg L<sup>-1</sup> de cloro livre) por 15 min e lavagem em água corrente. O corte das fatias circulares de goiaba (Figura. 1) foi realizado com auxílio

de uma faca de aço inoxidável e um paquímetro digital para garantir que as fatias circulares de goiaba apresentassem uma espessura de 6mm. O teor de água inicial das fatias de goiaba era de 85,15%.



Figura 1. Goiabas utilizadas para a secagem.

### **Procedimento de pré-tratamento**

As fatias de goiaba foram tratadas por ultrassom, sendo mantidas em banho em dois diferentes tempos de sonicação, sendo eles 10 min (US10) e 20 min (US20). O ultrassom foi transmitido em banho ultrassônico com termostato (Unique, modelo USC-2850A, Brasil) sem agitação mecânica, frequência de 25 kHz e a intensidade de 4870 W m<sup>-2</sup> seguindo a metodologia proposta por Silva Júnior et al. (2018).

### **Cinética de secagem**

A cinética de secagem foi realizada para as fatias de goiabas controle (sem ultrassom) e tratadas em ultrassom por 10 min (US10) e por 20 min (US20) nas temperaturas de 50, 70 e 90°C em um forno elétrico (Semp Easy, modelo FO3015PR2) com potência de 1200 W. O forno elétrico possui as dimensões de 25 x 41,5 x 32,2 cm, a temperatura do forno foi medida com auxílio de um sensor.

As fatias circulares foram distribuídas uniformemente em bandejas e o teor de água inicial e de equilíbrio em cada temperatura foi determinado conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz (AOAC, 2016). Os dados experimentais da perda de água durante o processo de secagem foram expressos em termos de razão de teor de água ( $X^*$ ), como descrito na Equação 1.

$$X^*(t) = \frac{X(t) - X_{eq}}{X_i - X_{eq}} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:  $X^*$ : razão de teor de água (adimensional);  $X_{eq}$ : teor de água de equilíbrio (base seca);  $X(t)$ : teor de água (base seca);  $X_i$ : teor de água inicial (base seca).

### Modelos empíricos

Para avaliar o efeito do tempo de ultrassom e da temperatura de secagem, foram ajustados inicialmente quatro modelos matemáticos empíricos aos dados obtidos experimentalmente. Sendo considerada como experimentos controle as fatias de goiabas não submetidas ao pré-tratamento de ultrassom. Quatro funções empíricas  $f(t,a,b)$ , apresentadas na Tabela 1, foram ajustadas aos conjuntos de dados experimentais, usando regressão não linear através do Software de Ajuste de Curvas LAB Fit (SILVA & SILVA, 2008). A partir dos modelos apresentados, as expressões matemáticas para taxa de secagem em função do tempo são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos empíricos e taxa de secagem utilizados na descrição da cinética de secagem

Nome do modelo	Expressão empírica	Taxa de secagem
Lewis	$X^* = e^{-at}$	$\frac{dX^*}{dt} = ae^{-at}$
Page	$X^* = e^{-at^b}$	$\frac{dX^*}{dt} = -abe^{b-1}e^{-at^b}$
Handerson e Pabis	$X^* = ae^{-bt}$	$\frac{dX^*}{dt} = -abe^{-bt}$
Silva et al.	$X^* = e^{-at-b\sqrt{t}}$	$\frac{dX^*}{dt} = -\left(a + bt^{-1/2}/2\right)e^{-at-b\sqrt{t}}$

Os resultados dos modelos empíricos foram avaliados através dos indicadores estatísticos qui-quadrado ( $\chi^2$ ) (Equação 2) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) (BEVINGTON & ROBINSON, 1992; DA SILVA et al., 2008; TAYLOR, 1997; SILVA et al., 2014).

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{\text{exp},i}^* - X_{\text{pre},i}^*)^2}{N - n} \quad (\text{Eq.2})$$

Onde:  $\chi^2$  é a função qui-quadrado;  $X_{\text{exp},i}^*$  é a razão de umidade experimental;  $X_{\text{pre},i}^*$  é a razão de umidade prevista pelo modelo; N é o número de dados experimentais; e n é o número de coeficientes e constantes do modelo.

### Resultados e Discussão

Na Tabela 2, estão apresentados os valores obtidos para os parâmetros dos modelos matemáticos ajustados. Apenas o modelo matemático de Page apresenta coeficiente de determinação ( $R^2$ ) com valores superiores a 0.99 ( $R^2 > 0,99$ ) para todas a condições testadas e baixos valores da função qui-quadrado ( $\chi^2$ ), sendo dessa forma considerado o modelo de melhor ajuste.

Tabela 2. Resultados obtidos pelo ajuste dos modelos

<b>Lewis</b>					
<b>T (°C)</b>	<b>Condições</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>χ<sup>2</sup></b>
50	Controle	0.2303x10 <sup>-2</sup>	-	0.9797	0.9963x10 <sup>-1</sup>
	US10	0.3211x10 <sup>-2</sup>	-	0.9930	0.3139x10 <sup>-1</sup>
	US20	0.4636x10 <sup>-2</sup>	-	0.9948	0.3076x10 <sup>-1</sup>
70	Controle	0.4789x10 <sup>-2</sup>	-	0.9943	0.4719x10 <sup>-1</sup>
	US10	0.6634x10 <sup>-2</sup>	-	0.9993	0.1060x10 <sup>-1</sup>
	US20	0.9402x10 <sup>-2</sup>	-	0.9985	0.1264x10 <sup>-1</sup>
90	Controle	0.1056x10 <sup>-1</sup>	-	0.9939	0.1644x10 <sup>-1</sup>
	US10	0.2449x10 <sup>-1</sup>	-	0.9838	0.3923x10 <sup>-1</sup>
	US20	0.3175x10 <sup>-1</sup>	-	0.9723	0.8001x10 <sup>-1</sup>
<b>Page</b>					
<b>T (°C)</b>	<b>Condições</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>χ<sup>2</sup></b>
50	Controle	0.1653x10 <sup>-3</sup>	1.4314	0.9943	0.2463x10 <sup>-2</sup>
	US10	0.1107x10 <sup>-2</sup>	1.1858	0.9962	0.1235x10 <sup>-2</sup>
	US20	0.1648x10 <sup>-2</sup>	1.1946	0.9971	0.9683x10 <sup>-2</sup>
70	Controle	0.1042x10 <sup>-2</sup>	1.2889	0.9986	0.5541x10 <sup>-2</sup>
	US10	0.3542x10 <sup>-2</sup>	1.1296	0.9996	0.1102x10 <sup>-2</sup>
	US20	0.4583x10 <sup>-2</sup>	1.1632	0.9997	0.6062x10 <sup>-3</sup>
90	Controle	0.1689x10 <sup>-2</sup>	0.8908	0.9965	0.8298x10 <sup>-2</sup>
	US10	0.7193x10 <sup>-2</sup>	1.3548	0.9945	0.1571x10 <sup>-2</sup>
	US20	0.3003x10 <sup>-2</sup>	1.7076	0.9992	0.1627x10 <sup>-2</sup>
<b>Handerson e Pabis</b>					
<b>T (°C)</b>	<b>Condições</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>χ<sup>2</sup></b>
50	Controle	1.0374	0.2416	0.9769	0.8684x10 <sup>-1</sup>
	US10	1.0232	0.3318	0.9918	0.2721x10 <sup>-1</sup>
	US20	1.0320	0.4865	0.9932	0.2411x10 <sup>-1</sup>
70	Controle	1.0482	0.5136	0.9922	0.3225x10 <sup>-1</sup>
	US10	1.0321	0.6992	0.9986	0.5299x10 <sup>-2</sup>
	US20	1.0429	0.1009	0.9981	0.5181x10 <sup>-2</sup>
90	Controle	0.9763	0.1010	0.9937	0.1440x10 <sup>-1</sup>
	US10	1.0764	0.2710	0.9867	0.2673x10 <sup>-1</sup>
	US20	1.1110	0.3582	0.9718	0.5622x10 <sup>-1</sup>
<b>Silva et al.</b>					
<b>T (°C)</b>	<b>Condições</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>χ<sup>2</sup></b>
50	Controle	0.3005x10 <sup>-2</sup>	0.1373x10 <sup>-1</sup>	0.9832	0.6294x10 <sup>-1</sup>
	US10	0.3773x10 <sup>2</sup>	-0.9040x10 <sup>-2</sup>	0.9935	0.2091x10 <sup>-1</sup>
	US20	0.5638x10 <sup>-2</sup>	-0.1293x10 <sup>-1</sup>	0.9949	0.1711x10 <sup>-1</sup>
70	Controle	0.6297x10 <sup>-2</sup>	-0.1916x10 <sup>-1</sup>	0.9955	0.1809x10 <sup>-1</sup>
	US10	0.7944x10 <sup>-2</sup>	-0.1338x10 <sup>-1</sup>	0.9994	0.2169x10 <sup>-2</sup>
	US20	0.1196x10 <sup>-1</sup>	-0.2126x10 <sup>-1</sup>	0.9997	0.7517x10 <sup>-2</sup>
90	Controle	0.8488x10 <sup>-2</sup>	0.1651x10 <sup>-1</sup>	0.9956	0.1019x10 <sup>-1</sup>
	US10	0.3554x10 <sup>-1</sup>	-0.7554x10 <sup>-1</sup>	0.9949	0.1274x10 <sup>-1</sup>
	US20	0.5800x10 <sup>-1</sup>	-0.1327	0.9916	0.1624x10 <sup>-1</sup>

Na Figura 1, observa-se, as curvas da cinética de secagem para todos os tratamentos e temperaturas ajustadas ao modelo de Page. O tempo total de secagem sem ultrassom (controle) foi cerca de 3 horas maior que o tempo com US10 e cerca de 5 horas maior que o tempo com US20. Esses

resultados demonstram que, o aumento do tempo de pré-tratamento diminuiu o custo em termos de tempo de secagem e conseqüentemente de energia. Segundo Cao et al. (2019), o mecanismo desse fenômeno é a tensão de cisalhamento induzida pelo ultrassom que destrói a parede celular da fruta; além disso, o aumento do calor permite uma alta taxa de desidratação.

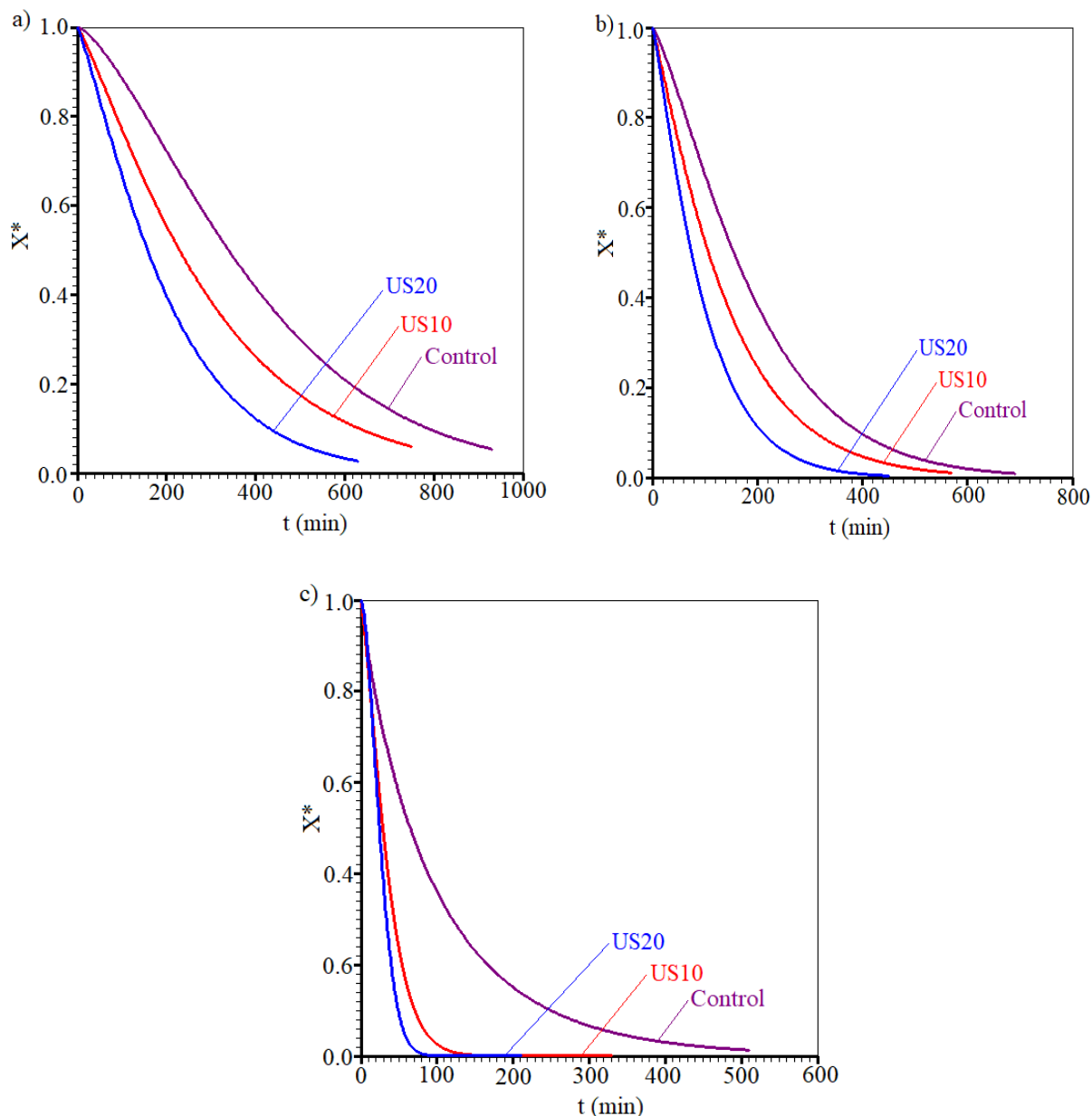


Figura 1. Cinética de secagem simulada utilizando o método matemático empírico de Page T: a) 50°C; b) 70°C e c) 90°C.

Segundo Cruz et al. (2020), uma boa aproximação a partir de modelos matemáticos empíricos é crucial para representar as curvas da taxa de secagem usando a derivada desses modelos. Portanto, na Figura 2 são apresentadas as taxas de secagem calculadas pela derivada do modelo empírico de Page. Os resultados evidenciaram que as taxas de secagem mais altas estão ligadas às temperaturas mais altas e aos maiores tempos de pré-tratamento.

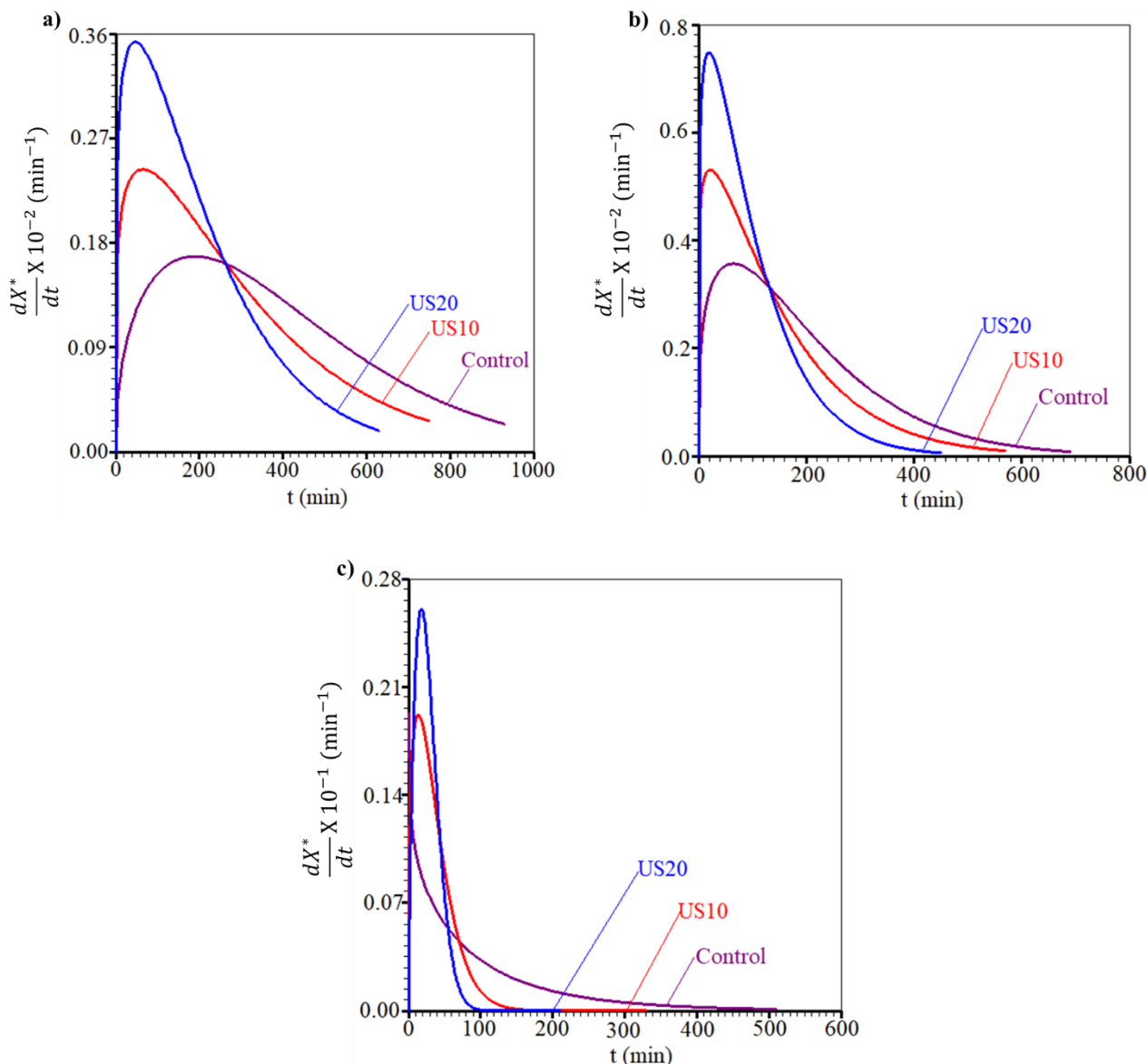


Figura 2. Taxa de secagem calculada usando a expressão obtida através do modelo de Page para as temperaturas, a) 50°C, b) 70°C e c) 80°C.

O período de aquecimento se manifesta no início do processo de secagem com uma taxa de secagem crescente até um valor máximo, como é possível visualizar na Figura 2. Posteriormente, um estágio caracterizado pela taxa de secagem decrescente aparece até que o teor de umidade de equilíbrio da amostra seja atingido. Esse estágio é chamado de período de taxa de queda, que pode ser dividido em dois subestágios, o primeiro e o segundo período de taxa de queda. A diferença entre esses dois estágios pode ser vista quando a inclinação da função muda para ser menos pronunciada (ARJONA et al., 1999; FREIRE et al., 2001; CELMA et al., 2007; MILCZAREK et al., 2011; CRUZ et al., 2014).

**Conclusão**



A secagem assistida por ultrassom resultou em maior taxa de secagem e menor tempo de processo.

O modelo de Page foi o mais adequado para descrever a cinética de secagem das fatias de goiaba.

O uso dos diferentes tempos de ultrassom, proporcionou aumento no processo de transporte de umidade.

## Referências

- ARJONA, R.; GARCÍA, A.; OLLERO, P. Drying of alpeorujo, a waste product of the olive oil mill industry. *Journal of Food Engineering*, v.41, p.229-234, 1999.
- ASHA, S.; PAWAN, S.; ANNU, D. Determination of total phenolic content and total protein in guava (*Psidium guajava*) and lemon (*Citrus limon*). *International Journal of Biological & Pharmaceutical Research*, v.4, n.11, p.827-834, 2013.
- CAO, X.; ISLAM, M. N.; ZHONG, S.; PAN, X.; SONG, M.; SHANG, F.; NIE, H.; XU, W.; DUAN, Z. Drying kinetics, antioxidants, and physicochemical properties of litchi fruits by ultrasound-assisted hot air-drying. *Journal of Food Biochemistry*, v.44, n.e13073, 2019.
- CELMA, A. R.; ROJAS, S.; LÓPEZ, F.; MONTERO, I.; MIRANDA, T. Thin-layer drying behaviour of sludge of olive oil extraction. *Journal of Food Engineering*, v.80, n.4, p.1261-1271, 2007.
- CHANDRAPALA, J.; OLIVER, C.; KENTISH, S.; ASHOKKUMAR, M. Ultrasonics in food processing - food quality assurance and food safety. *Trends in Food Science & Technology*, v.26, n.2, p.88-98, 2012.
- CHEN, H. Y.; YEN, G. C. Antioxidant activity and free radical-scavenging capacity of extracts from guava (*Psidium guajava* L.) leaves. *Food Chemistry*, v.101, n.2, p.686-694, 2007.
- CRUZ, F. J. G.; CARNICERO, J. M. P.; ESCOBEDO, Q. H.; PERAGÓN, F. C. Drying kinetics of olive stone: a valuable source of biomass obtained in the olive oil extraction. *Energy*, v.75, p.146-152, 2014.
- CRUZ, F. J. G.; CARNICERO, J. M. P.; ESCOBEDO, Q. H.; PERAGÓN, F. C. Determination of the drying rate and effective diffusivity coefficients during convective drying of two-phase olive mill waste at rotary dryers drying conditions for their application. *Renewable Energy*, v.151, p.900-910, 2020.
- DAKAPPA, S. S.; ADHIKARI, R.; TIMILSINA, S. S.; SAJJJEKHAN, S. Uma revisão sobre a planta medicinal *Psidium Guajava* Linn. (Myrtaceae). *J. Drug Deliv. Ther.*, v.3, n.2, p.162-8, 2013.
- FREIRE, F.; FIGUEIREDO, A.; FERRÃO, P. Modelling high temperature, thin layer, drying kinetics of olive bagasse. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v.78, n.4, p.397-406, 2001.
- GHALATI, R. E.; SHAMILI, M.; HOMAELI, A. Effect of putrescine on biochemical and physiological characteristics of guava (*Psidium guajava* L.) seedlings under salt stress. *Scientia Horticulturae*, v.261, 108961e, 2020.
- GROVER, I. S.; BALA, S. Studies on antimutagenic effects of guava (*Psidium guajava*) in *Salmonella typhimurium*. *Mutation Research/Genetic Toxicology*, v.300, n.1, p.1-3, 1993.

- GUO, Y.; WU, B.; GUO, X.; DING, F.; PAN, Z.; MA, H. Effects of power ultrasound enhancement on infrared drying of carrot slices: Moisture migration and quality characterizations. *LWT*, v.126, p.109312, 2020.
- HUANG, D.; MEN, K.; LI, D.; WEN, T.; GONG, Z.; SUNDEN, B.; WU, Z. Application of ultrasound technology in the drying of food products. *Ultrasonics Sonochemistry*, v.63, 104950e, 2020.
- LIU, S.; LIU, Y.; HUANG, X.; YANG, W.; HU, W.; PAN, S.; Effect of ultrasonic processing on the changes in activity, aggregation and the secondary and tertiary structure of polyphenol oxidase in oriental sweet melon (*Cucumis melo* var. *makuwa* Makino). *J. Science Food Agriculture*, n.97, p.1326-1334, 2017.
- MENEGHETTI, V. L.; AOSANI, E.; da ROCHA, J. C.; de OLIVEIRA, M.; ELIAS, M. C.; POHNDORF, R. S. Modelos matemáticos para a secagem intermitente de arroz em casca. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.10, p.1115-1120, 2012.
- MENEZES, M. L.; STRÖHER, A. P.; PEREIRA, N. C.; BARROS, S. T. D. Análise da cinética e ajustes de modelos matemáticos aos dados de secagem do bagaço do maracujá-amarelo. *Revista Engevista*, v.15, p.176-186, 2013.
- MILCZAREK, R. R.; DAI, A. A.; OTONI, C. G.; MCHUGH, T. H. Effect of shrinkage on isothermal drying behavior of 2-phase olive mill waste. *Journal of Food Engineering*, v.103, n.4, p.434-441, 2011.
- MUSIELAK, G.; MIERZWA, D.; KROEHNKE, J. Food drying enhancement by ultrasound - A review. *Trends in Food Science & Technology*, v.56, p.126-141, 2016.
- OLIVEIRA, F. I. P. D. Estudo do processo de produção de jambo desidratado sob aplicação de ultrassom. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2010.
- OLIVEIRA, V. S. de; RODRIGUES, S.; FERNANDES, F. A. N. Influência do processamento ultrassônico na vitamina E pura e no abacate (*persea americana*). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Encontro Brasileiro sobre o Ensino de Engenharia Química, 16, 21, 2016, Fortaleza. Anais... Fortaleza, 2016.
- RANI, P.; TRIPATHY, P. P. Effect of ultrasound and chemical pretreatment on drying characteristics and quality attributes of hot air dried pineapple slices. *Journal of Food Science and Technology*, v.56, n.11, p.4911-4924, 2019.
- SABAREZ, H. T.; GALLEGUO-JUAREZ, J. A.; RIERA, E. Ultrasonic-assisted convective drying of apple slices. *Drying Technology*, v.30, n.9, p.989-997, 2012.
- SILVA JÚNIOR, E. V.; MELO, L. L.; MEDEIROS, R. A. B.; BARROS, Z.M. P.; AZOUBEL, P. M. Influence of ultrasound and vacuum assisted drying on papaya quality parameters. *LWT - Food Science and Technology*, v.97, p.317-322, 2018.
- SILVA, S. N.; MATOS, J. D. P.; SILVA, P. B.; COSTA, Z. R. T.; GOMES, J. P.; SILVA, L. P. F. R.; VIEIRA, A. F.; MELO, B. A.; PRIMO, D. M. B.; ALEXANDRE, H. V. Prediction of mathematical models of the drying kinetics and physicochemical quality of the chili pepper. *Journal of Agricultural Science*, v.10, n.12, p.377-384, 2018.

SILVA, W. P.; PRECKER, J. W.; SILVA, C. M. D. P. S.; GOMES, J. P. Determination of effective diffusivity and convective mass transfer coefficient for cylindrical solids via analytical solution and inverse method: Application to the drying of rough rice. *Journal of Food Engineering*, v.98, n.3, p.302-308, 2010.

SILVA, W. P.; SILVA, C. M. D. P. S. LAB Fit Curve Fitting Software (Nonlinear Regression and Treatment of Data Program) v.7.2.50. 2008. Disponível em: [www.labfit.net](http://www.labfit.net). Acesso em: 10/abril/2020.

SMITH, R. M.; SIWATIBAU, S. Sesquiterpene hydrocarbons of Fijian guavas. *Phytochemistry*, v.14, n.9, p.2013-2015, 1975.

TAO, Y.; ZHANG, J.; JIANG, S.; XU, Y.; SHOW, P.; HAN, Y.; YE, X.; YE, M. Contacting ultrasound enhanced hot-air convective drying of garlic slices: Mass transfer modeling and quality evaluation. *Journal of Food Engineering*, v.235, p.79–88, 2018.

WANG, F.; CHEN, Y. H.; ZHANG, Y.; DENG, G.; ZOU, Z.; LI, A.; LI, H. B. Chemical components and bioactivities of *Psidium guajava*. *International Journal of Food Nutrition and Safety*, v.5, n.2, p.98-114, 2014.

## Capítulo II

# **INFLUÊNCIA DA MALTODEXTRINA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO PÓ DE JAMBO (*Syzygium malaccensis*) LIOFILIZADO**

**Virgínia Mirtes de Alcântara Silva  
Newton Carlos Santos  
Raphael Lucas Jacinto Almeida  
Victor Herbert de Alcântara Ribeiro  
Ângela Maria Santiago  
Mércia Melo de Almeida Mota**

### **Introdução**

*Syzygium malaccensi*, árvore da família Myrtaceae, popularmente conhecida como jambo-vermelho, tem origem asiática, mais especificamente da Índia e da Malásia, cultivada em Bengala e no Sul da Índia. O gênero *Syzygium* é considerado um dos maiores da família Myrtaceae, com aproximadamente 500 espécies de árvores e arbustos, dos quais cerca de 400 distribuem-se no Brasil (OLIVEIRA et al., 2005).

É um fruto encontrado principalmente nas regiões Norte e Nordeste e em áreas/zonas quentes da região Sudeste do Brasil, sua colheita é realizada entre os meses de janeiro e maio (COSTA et al., 2006). O jambo vermelho (*Syzygium malaccensis*) pode ser consumido *in natura*, em forma de compotas, doce em massa, geleias, licores e aguardente e ainda pode ser utilizado para a produção de corante e antioxidante natural para uso em vários segmentos da indústria. Os frutos do jambeiro apresentam cor vermelho escuro, levemente adocicado, exalando aroma de rosas, persistente e bastante agradável ao olfato (AUGUSTA et al., 2010).

A casca do jambo vermelho concentra a maioria dos compostos bioativos e a capacidade antioxidante da fruta, alto teor de carboidratos, altas concentrações de ácido ascórbico, e levada acidez, antocianinas e fibra alimentar (VUOLO, 2019; AUGUSTA, 2010).

A literatura científica afirma que os frutos do jameiro apresentam uma alta taxa de umidade e açúcares, além de níveis aceitáveis de acidez, lipídios e taninos (ENIDIOK & ATTAH, 2010). Várias espécies de *Syzygium* foram relatados por possuírem atividades antibacterianas, antifúngicas e anti-inflamatórias (CHANDRASEKARAN & VANKATESALU, 2004; SHAFI et al., 2002).

Porém, grande parte da fruta é desperdiçada na época da colheita devido à alta produção, perecibilidade e falta de informações de viabilidade tecnológica para uso pelas indústrias (BATISTA et al., 2017).

Várias pesquisas foram realizadas com o objetivo de estudar a cinética de secagem utilizando o ultrassom para diversas frutas: acerola (DA COSTA et al., 2020); abacaxi (RANI et al., 2019); melão (LIU et al., 2017); abacate (OLIVEIRA et al., 2016); maçãs (SABAREZ et al., 2012) e jambo (OLIVEIRA et al., 2010).

Dessa forma, visando a redução das perdas pós colheitas e nos desenvolvimentos de alimentos em pó, a liofilização pode ser uma alternativa viável para conservação desse fruto.

Segundo Vivas et al. (2019) e Ribeiro et al. (2019), a liofilização ou criodessecação é considerada como sendo um dos melhores métodos de secagem, pois possibilita a manutenção das propriedades organolépticas e nutricionais dos alimentos. O método consiste no congelamento do produto seguido pela desidratação, que ocorre através do processo de sublimação, proporcionando a redução do teor de água e conseqüentemente minimizando a ocorrência da maior parte das reações que provocam a degradação do produto. A liofilização é feita em temperaturas mais baixas, conseqüentemente preservando as características de qualidade dos alimentos e limitando os danos sofridos por compostos termolábeis (MARTÍNEZ-NAVARRETE et al., 2019).

A adição de substâncias conhecidas como agentes carreadores, encapsulantes ou adjuvantes de secagem influenciam nas propriedades físicas e na estabilidade dos pós de frutas, sendo assim, o conhecimento dessas propriedades físicas são importantes ferramentas para indústria de alimentos (TZE et al., 2012; MACIEL et al., 2020; ALVES et al., 2020).

Diversos produtos de amidos e dextrinas podem ser utilizados, como adjuvantes da secagem de polpas de frutas por atomização, como a maltodextrina. A sua grande utilização é devida a fatores como o baixo custo, auxílio na secagem de alimentos difíceis de desidratar, como sumos de frutos, baixa higroscopicidade, possuírem propriedades antioxidantes e retenção de compostos voláteis (SOUZA et al., 2015).

Vários trabalhos têm sido realizados com o objetivo de estudar o processo de liofilização com uso de agentes carreadores em diversas frutas: pitaya vermelha (DE BRITO ALVES et al., 2020); toranja (GONZÁLEZ et al., 2019; GARCÍA-MARTÍNEZ et al., 2018), mangaba (BARROSO et al., 2016); manga (CRESPI et al., 2016); abacaxi (VIEIRA et al., 2012).

Portanto, o presente estudo tem como objetivo de avaliar a influência da adição de diferentes concentrações de maltodextrina nas propriedades físicas do pó da polpa de jumbo liofilizada.

## Material e Métodos

Para realização dessa pesquisa foram utilizados frutos do jамbeiro (*Syzygium malaccensis*) adquiridos no comércio local da cidade de Campina Grande-PB. Em seguida transportados para o Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), onde os frutos foram selecionados, lavados, higienizados e sanitizados em hipoclorito de sódio em solução (200ppm) por 10 minutos e em seguida com auxílio de uma faca doméstica eles foram descascados e sua polpa foi processada.



Figura 1. Jambos (*Syzygium malaccensis*).

## Liofilização

A polpa de jambo foi adicionada de maltodextrina nas concentrações de 0, 5, 10, 15 e 20% (m/m) em seguida as formulações foram depositadas em formas plásticas e conduzidas para o congelamento lento em freezer por 48 h em temperatura de  $-18^{\circ}\text{C}$ . Após o congelamento, a amostra foi transferida para o liofilizador de bancada (Terroni, LS 3000) e submetida a uma temperatura de  $-50^{\circ}\text{C}$  por 48 h.

## Caracterização física

O pó de jambo liofilizado nas diferentes concentrações de maltodextrina (0, 5, 10, 15 e 20%) foi analisado quanto aos seguintes parâmetros físicos: teor de umidade onde foi determinado de acordo com BRASIL (2008); Atividade de água foi realizada leitura direta em equipamento Aqualab® na temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$ ; Densidade aparente ( $\rho_a$ ) e densidade compactada ( $\rho_c$ ) foram determinadas de acordo com a metodologia descrita por Tonon et al. (2009); O Índice de Car (IC) e o Fator de Hausner (FH) foram calculados a partir das equações propostas por Wells (1998).

## Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância de fator único (ANOVA) de 5% de probabilidade e as respostas qualitativas significativas foram submetidas ao teste de Tukey adotando-se o mesmo nível de 5% de significância. Para o desenvolvimento das análises estatísticas o software ASSISTAT versão 7.0 foi utilizado.

## Resultados e Discussão

Na Tabela 1, estão apresentados os valores médios obtidos para o teor de umidade do pó de jambo liofilizado com diferentes concentrações de maltodextrina.

Tabela 1. Teor de umidade do pó de jambo liofilizado com diferentes concentrações de maltodextrina

Formulação (%)	Umidade (%)
0	4,01 <sup>c</sup> ± 0,01
5	3,89 <sup>b</sup> ± 0,02
10	4,23 <sup>a</sup> ± 0,11
15	4,11 <sup>d</sup> ± 0,09
20	3,96 <sup>d</sup> ± 0,08

Nota: Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Pode-se observar que o teor de umidade não apresentou uma relação direta com o aumento da concentração de maltodextrina, sendo obtidos para todas as formulações teores inferiores a 5%. O maior valor obtidos foi de 4,11% para a formulação que continha 15% de maltodextrina, que estatisticamente não apresentou diferenças significativa quando comparada com a formulação que continha 20% de maltodextrina (3,69%). Maciel et al. (2020), ao determinarem o teor de umidade no pó da polpa de cupuaçu liofilizada com diferentes concentrações de maltodextrina (5, 15 e 25%) obtiveram valores próximos ao do presente estudo, no qual variaram de 3,01 a 3,43%. Na Tabela 2, estão apresentados os valores médios obtidos para a atividade de água do pó de jambo liofilizado com diferentes concentrações de maltodextrina.

Tabela 2. Atividade de água ( $a_w$ ) do pó de jambo liofilizado com diferentes concentrações de maltodextrina

Formulação (%)	Atividade de água ( $a_w$ )
0	0,158 <sup>e</sup> ± 0,01
5	0,125 <sup>d</sup> ± 0,00
10	0,189 <sup>a</sup> ± 0,01
15	0,174 <sup>b</sup> ± 0,01
20	0,133 <sup>c</sup> ± 0,00

Nota: Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A atividade de água obtida para todas as formulações foi inferior a 0,2 e obteve variação de 0,125 a 0,189 apresentando diferenças estatísticas significativas. Cavalcante et al. (2017), obtiveram atividade de água de 0,15 para o pó de graviola obtido por secagem em *spray dryer* adicionado de 17% de maltodextrina. Segundo Almeida et al. (2020), a atividade de água traz informações importantes sobre a vida útil de um produto e alimentos com atividade de água abaixo de 0,6, em geral, são considerados

microbiologicamente estáveis e as deteriorações que podem ocorrer são induzidas pelas reações químicas ao invés de microrganismos.

Na Tabela 3, estão apresentados os valores médios obtidos para a densidade aparente do pó de jambo liofilizado com diferentes concentrações de maltodextrina.

Tabela 3. Densidade aparente do pó de jambo liofilizado com diferentes concentrações de maltodextrina

Formulação (%)	Densidade aparente (g cm <sup>-3</sup> )
0	0,320 <sup>d</sup> ± 0,005
5	0,342 <sup>c</sup> ± 0,008
10	0,356 <sup>b</sup> ± 0,003
15	0,399 <sup>a</sup> ± 0,011
20	0,411 <sup>a</sup> ± 0,013

Nota: Médias seguidas pela mesma letra nas mesmas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Houve um aumento nos valores de densidade aparente de 0,320 para 0,411 g cm<sup>-3</sup>, quando se teve aumento na concentração de maltodextrina. Os valores obtidos quando comparados entre si, apresentaram diferenças estatísticas significativas ao nível de 5% de probabilidade. De acordo com Cavalcante et al. (2017) os baixos valores de densidade estão associados ao baixo teor de umidade do material e ao uso de maltodextrina. A adição de maltodextrina aumenta o teor de sólidos totais e reduz o teor de umidade do material.

Segundo Tono et al. (2013) e Maciel et al. (2020), a adição da maltodextrina aumenta o peso molecular das partículas, e quanto mais pesado o material, mais facilmente esse se acomoda nos espaços entre as partículas, ocupando menor volume e resultando em maior densidade. Na Tabela 4, estão apresentados os valores médios obtidos para a densidade compactada do pó de jambo liofilizado com diferentes concentrações de maltodextrina.

Tabela 4. Densidade compactada do pó de jambo liofilizado com diferentes concentrações de maltodextrina

Formulação (%)	Densidade compactada (g cm <sup>-3</sup> )
0	0,476 <sup>c</sup> ± 0,006
5	0,485 <sup>cb</sup> ± 0,008
10	0,501 <sup>b</sup> ± 0,011
15	0,545 <sup>d</sup> ± 0,005
20	0,559 <sup>a</sup> ± 0,002

Nota: Médias seguidas pela mesma letra nas mesmas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Os valores de densidade compactada para os pós de jambo liofilizado foram superiores aos obtidos para densidade aparente e também apresentaram comportamento semelhante, ou seja, também tiveram aumento quando se teve aumento da concentração de maltodextrina. Houve uma variação de 0,476 a 0,559 g cm<sup>-3</sup>, estatisticamente a formulação com 5% não apresentou diferença significativa quando comparada com as formulações com 0 e 10%. Moura (2015), em seus estudos com pitaya branca liofilizada relatou valores de 0,64 g cm<sup>-3</sup> para o pó de pitaya com 15% de maltodextrina e 0,80 g cm<sup>-3</sup> para o pó de pitaya com 25% de maltodextrina, observando uma tendência de aumento conforme a elevação da concentração de maltodextrina nas formulações.

Na Tabela 5, estão apresentados os valores médios obtidos para o índice de Carr (IC) do pó de jambo liofilizado com diferentes concentrações de maltodextrina.

Tabela 5. Índice de Carr (IC) do pó de jambo liofilizado com diferentes concentrações de maltodextrina

Formulação (%)	Índice de Carr (%)
0	48,75 <sup>a</sup> ± 1,12
5	41,81 <sup>b</sup> ± 1,28
10	40,73 <sup>b</sup> ± 1,03
15	36,59 <sup>c</sup> ± 1,15
20	36,01 <sup>c</sup> ± 1,10

Nota: Médias seguidas pela mesma letra nas mesmas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores do índice de Carr (IC) variaram de 36,01 a 48,75% sendo que os menores valores foram obtidos para as formulações que continham maiores percentuais de maltodextrina (20%). Estatisticamente as formulações com 5 e 10% não apresentaram diferenças significativas, assim como também as formulações com 15 e 20%. Alves et al. (2020) em seus estudos com polpa de pitaya vermelha liofilizada, observaram comportamento semelhante ao do presente estudo, obtendo valores que variaram de 22,61 a 43%. Ribeiro et al. (2019) obtiveram 19,38% para um *blend* liofilizado composto por kiwi e maracujá. Aziz et al. (2018), relatam que índice de Carr (IC) maiores que 26% indicam muita compressibilidade das partículas, sendo pouco fluidas quando empacotadas e armazenadas.

Na Tabela 6, estão apresentados os valores médios obtidos para o fator de Hausner (FH) do pó de jambo liofilizado com diferentes concentrações de maltodextrina.

Tabela 6. Fator de Hausner (FH) do pó de jambo liofilizado com diferentes concentrações de maltodextrina

Formulação (%)	Fator de Hausner
0	1,48 <sup>a</sup> ± 0,01
5	1,43 <sup>ab</sup> ± 0,02
10	1,41 <sup>b</sup> ± 0,01
15	1,37 <sup>c</sup> ± 0,00
20	1,36 <sup>c</sup> ± 0,00

Nota: Médias seguidas pela mesma letra nas mesmas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O fator de Houser obtido para as diferentes formulações variou de 1,36 a 1,48, apresentando redução quando se teve aumento na concentração de maltodextrina. Estatisticamente as formulações com 15 e 20%; 5 e 10%, quando comparadas entre si não apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade. Segundo Aziz et al. (2018) e Alves et al. (2020) o fator de Hausner é usada para classificar a coesão do pó, que é uma boa medida da consistência do pó e fluidez.

### Conclusão

Todas as formulações apresentaram baixos valores de umidade e conseqüentemente baixos valores de atividade de água, sendo consideradas estáveis.

O aumento da concentração de maltodextrina proporcionou aumento na densidade do produto.

O pó de jambo liofilizado com 20% de maltodextrina foi considerado como o de melhor fluidez, pois apresentou o menor índice de Carr e o menor fator de Hausner.

Como sugestões de trabalhos futuros pode-se determinar a composição centesimal de cada formulação, assim como, realizar um estudo de estabilidade durante o seu armazenamento.

### Referências

- AUGUSTA, I. M., RESENDE, J. M., BORGES, S. V., MAIA, M. C. A., & COUTO, M. A. P. G. Caracterização física e química da casca e polpa de jambo vermelho. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.30, n.4, p.928-932, 2010.
- ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; DOS SANTOS PEREIRA, T.; DE ALCÂNTARA SILVA, V. M.; DE ALCÂNTARA RIBEIRO, V. H.; SILVA, L. N.; SANTIAGO, Â. M. Texture profile and water activity of cookies made with red rice during storage. *Research, Society and Development*, v.9, n.1, e170911830, 2020.
- ALVES, T. B.; AFONSO, M. R. A.; DA COSTA, J. M. C. Efeitos da adição de agentes carreadores sobre o pó da polpa de pitáia vermelha (*H. polyrhizus*) liofilizada. *Research, Society and Development*, v.9, n.8, e950986105-e950986105, 2020.

- AUGUSTA, I. M.; RESENDE, J. M.; BORGES, S. V.; MAIA, M. C. A.; COUTO, M. A. P. G. Caracterização física e química da casca e polpa de jambo vermelho (*Syzygium malaccensis* (L.) Merryl & Perry). *Food Science and Technology*, v.30, n.4, p.928-932, 2010.
- AZIZ, M. G.; YUSOF, Y. A.; BLANCHARD, C.; SAIFULLAH, M.; FARAHNAKY, A.; SCHEILING, G. Material properties and tableting of fruit powders. *Food Eng. Rev.*, v.10, p.66–80, 2018.
- BATISTA, Â. G.; DA SILVA, J. K.; CAZARIN, C. B. B.; BIASOTO, A. C. T.; SAWAYA, A. C. H. F.; PRADO, M. A.; JÚNIOR, M. R. M. Red-jambo (*Syzygium malaccense*): Bioactive compounds in fruits and leaves. *Food Science and Technology*, v.76, p.284-291, 2017.
- BRASIL. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos químicos e físicos para análises de alimentos. 4º ed. São Paulo, 2008. 1020p.
- CAVALCANTE, C. E. B.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Avaliação dos parâmetros de secagem da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. *Brazilian Journal of Food Technology*, v.20, n.26, p.01-08, 2017.
- CHANDRASEKARAN, M.; VANKATESALU, V. Antibacteriano e atividades antifúngicas de sementes de *jambolanum de syzygium*. *J. Ethnopharmacol.*, v.91, n.1, p.105 -108, 2004.
- COSTA, R. S. Aspectos morfológicos e influência do tamanho da semente na germinação do jambo-vermelho. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.28, n.1, p.117-120, 2006.
- CRESPI, M. M.; BARALDI, I. J.; GARCIA, C. C. Cinética de liofilização de fatias de mangas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2016, Campinas. Anais...Campinas, 2016.
- DA COSTA, B. S. L.; DA COSTA VIEIRA, J. L. C.; CARDOSO, A. M.; BORGES, L. L. Otimização da extração assistida por ultrassom de compostos fenólicos totais e flavonoides a partir dos frutos de acerola (*Malpighia* Sp). *Revista Brasileira Militar de Ciências*, v. 6, n. 14, 2020.
- DE BRITO ALVES, T.; AFONSO, M. R. A.; DA COSTA, J. M. C. Efeitos da adição de agentes carreadores sobre o pó da polpa de pitaita vermelha (*H. polyrhizus*) liofilizada. *Research, Society and Development*, v.9, n.8, p.e950986105-e950986105, 2020.
- ENIDIOK, S. E.; ATTAH, L. E. Chemical composition in relation to the quality of wines produced from Nigerian *Syzygium malaccenses* and *Eugenia owariensis* apples. *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development*, v.10, n.2, p.2124 - 2128, 2010.
- GONZÁLEZ, F. G. M.; E. D. M. C.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Stability of the physical properties, bioactive compounds and antioxidant capacity of spray-dried grapefruit powder. *Food Bioscience*, v.28, p.74-82, 2019.
- GARCÍA-MARTÍNEZ, E.; A. I.; Y. del C.; A., P., J.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Atividades antioxidantes e antiinflamatórias de fenólicos de toranja liofilizados, afetados pela adição de goma arábica e fibra de bambu e pré-tratamento por microondas. *Journal of the Science of Food and Agriculture* , v.98, n.8, p.3076-3083, 2018.

- MACIEL, R. M. G.; DE LIMA, S. B.; DA COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A. Influência da maltodextrina nas propriedades de escoamento do pó da polpa de cupuaçu/Influence of maltodextrin on the flow properties of the cupuaçu pulp powder. *Brazilian Journal of Development*, v.6, n.2, p.5829-5839, 2020.
- MOURA, R. L. Liofilização de polpa de pitaya. 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2015.
- NASCIMENTO, A. P. S. Liofilização e caracterização físico-química de blend composto por kiwi e maracujá. *Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.9, n.7, p.6834, 2019.
- OLIVEIRA, V. S.; RODRIGUES, S.; FERNANDES, F. A. N. Influência do processamento ultrassônico na vitamina E pura e no abacate (*persea americana*). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 21; Encontro Brasileiro Sobre o Ensino de Engenharia Química, 16, 2016, Fortaleza. Anais... Fortaleza, 2016.
- OLIVEIRA, F. I. P. D. Estudo do processo de produção de jambo desidratado sob aplicação de ultrassom. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2010.
- RANI, P.; TRIPATHY, P. P. Effect of ultrasound and chemical pretreatment on drying characteristics and quality attributes of hot air dried pineapple slices. *Journal of Food Science and Technology*, v.56, n.11, p.4911-4924, 2019.
- RIBEIRO, V. H. A.; BARROS, S. L.; SANTOS, N. C.; DE ALCÂNTARA SILVA, V. M.; MELO, M. O. P.; SABAREZ, H. T.; GALLEGUO-JUAREZ, J. A.; RIERA, E. Ultrasonic-assisted convective drying of apple slices. *Drying Technology*, v.30, n.9, p.989-997, 2012.
- SHAFI, P. M.; ROSAMMA, M. K.; JAKIL, KREDDY, P. S. Atividade antibacteriana de *Syzygium cumuni* E. S. *travancoricum* óleos essenciais de folha. *Fitoterapia*, v.73, n.5, p.414-416, 2002.
- SOUZA, A. L. R.; RODRIGUES, F. M.; SILVA, G. V.; SANTOS, R. R. Microencapsulação de sucos e polpas de frutas por spray drying: uma revisão. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.17, n.3, p.327-338, 2015.
- TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. *Food Science and Technology*, v.29, n.2, p.444-450, 2009.
- TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Aplicação da secagem por atomização para a obtenção de produtos funcionais com alto valor agregado a partir do açaí. *Inclusão Social*, v.6, n.2, p.70-76, 2013.
- TURKIEWICZ, I. P. et al. Influence of different drying methods on the quality of Japanese quince fruit. *LWT*, v.114, p.108416, 2019.
- TZE, N. L.; HAN, C. P.; YUSOF, Y. A.; LING, C. N.; TALIB, R. A.; TAIP, F. S.; AZIZ, M. G. Physicochemical and nutritional properties of spray-dried pitaya fruit powder as naturais colorant. *Food Sci Biotechnol.*, v.21, n.3, p.675-682, 2012.
- VIEIRA, A. P.; NICOLETI, J. F.; TELIS, V. R. N. Liofilização de fatias de abacaxi: avaliação da cinética de secagem e da qualidade do produto. *Brazilian Journal of Food Technology*, v.15, n.1, p.50-58, 2012.

VIVAS, E. S. M.; AYALA-APONTE, A. A.; SERNA-COCK, L. Ultrasonido y deshidratación osmótica como pretratamientos a la liofilización de melón (*Cucumis melo* L.). *Información Tecnológica*, v.30, n.3, p.179-188, 2019.

VUOLO, M. M.; BATISTA, Â. G.; BIASOTO, A. C. T.; CORREA, L. C.; JÚNIOR, M. R. M.; LIU, R. H. Red-jambo peel extract shows antiproliferative activity against HepG2 human hepatoma cells. *Food Research International*, v.124, p.93-100, 2019.

WELLS, J. I. *Pharmaceutical preformulation: the physicochemical properties of drug substances*. E. Horwood. 1988. 553p.

## Capítulo III

# **DETERMINAÇÃO DA DIFUSIVIDADE, ENERGIA DE ATIVAÇÃO E PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DO PROCESSO DE SECAGEM DA CASCA DO ACHACHAIRU (*Garcinia humilis*)**

**Virgínia Mirtes de Alcântara Silva  
Newton Carlos Santos  
Raphael Lucas Jacinto Almeida  
Victor Herbert de Alcântara Ribeiro  
Ângela Maria Santiago  
Mércia Melo de Almeida Mota**

### **Introdução**

O achachairu (*Garcinia humilis*) vem ganhando destaque na produção em escala comercial nas diversas regiões do Brasil devido às condições climáticas e de solo satisfatórias para o desenvolvimento desta planta exótica e para a produção dos frutos (MELO et al., 2017).

O achachairu é amplamente distribuído na Bolívia e está bem adaptado ao Brasil, sendo utilizado pela população boliviana por conta das propriedades de cura digestiva e laxante, sendo assim uma boa alternativa para diversificar o cardápio, visto que as frutas são essenciais e indispensáveis para o ser humano. No Brasil ele é usado na medicina popular para tratar reumatismo, inflamação, dor e distúrbios gástricos (LIM, 2012; OLIVEIRA et al., 2019).

Várias pesquisas demonstram ainda sua ação anti-inflamatória e distúrbios gástricos (MARTINS et al., 2008; SEMWAL et al., 2015, OLIVEIRA et al., 2019), o tratamento de processos inflamatórios (CAO et al., 2007, DAL MOLIN et al., 2012; MARQUES et al., 2012), antimalárico (KONZIASE, 2015), efeito contra câncer de mama, próstata e rim linhas celulares (MARIANO et al., 2016).

Os frutos de *Garcinia* são utilizados há muito tempo para fins culinários e como conservantes de alimentos nos países asiáticos (PARASHARAMI et al., 2015; PATIL et al., 2016). As cascas de várias

espécies de *Garcinia* também têm sido utilizados desde os tempos antigos para tingir tecidos e fazer verniz transparente em combinação com outras substâncias (JOHN et al., 2018; ARAL & RAMESHKUMAR, 2016).

O achachairu pertence ao gênero *Garcinia* e inclui cerca de 600 espécies de árvores e arbustos (VIRGOLIN, 2015). Os frutos do achachairu são globoso-oblongos, a sua base peduncular é estreita e a calicinal mais larga. Composto de aproximadamente de 40% de polpa, 47% casca e 13% sementes (MELO et al., 2017). São frutos amarelo-alaranjados, com casca grossa, lisa, firme e resistente. A polpa de cor branca, suculenta não adere à casca, após a retirada dos frutos a casca se oxida rapidamente. As sementes são desuniformes, de 1 a 3 por fruto, esbranquiçadas, alongadas e grandes (MELO et al., 2017).

A casca do achachairu compõe um subproduto que é tradicionalmente descartado e somente agora estão sendo reconhecidos como importantes fontes de compostos químicos valiosos, sendo necessária a aplicação de métodos que conservem suas características, por um longo período (BARROS et al., 2017).

A casca do achachairu representa cerca de 2/4 do fruto, constitui fontes de nutrientes. De acordo com Pimentel 2017, a quantidade de fibras dietéticas é superior na casca do que na polpa, a semente possui alto teor de carboidratos e lipídeos, tanto a casca quanto a semente são ricas em minerais destacando-se o cálcio e potássio.

Os subprodutos oriundos de frutas e vegetais contêm compostos bioativos com atividades antioxidantes com aplicações nas indústrias de alimentos e de produtos farmacêuticos. Várias pesquisas já foram realizadas com o objetivo de estudar o processo de secagem de diversas cascas de frutos, casca de romã (MPHAHLELE et al., 2019); casca de abacaxi (LEITE et al., 2017), casca de banana (KUMAR et al., 2016) e casca da jaboticaba (COSTA et al., 2016).

Segundo Li et al. (2018), a secagem tem sido um dos métodos mais amplamente utilizados na preservação de alimentos, tendo como principal objetivo reduzir a atividade de água das matérias-primas e estender o seu prazo de validade. Para Jiang et al. (2017), a secagem não só reduz o teor de água dos produtos, mas também altera outras propriedades físicas, químicas e biológicas, como capacidade antioxidante, atividade enzimática, aroma e sabor.

Diante do exposto e considerando o potencial dos resíduos agroindustriais, o presente trabalho tem como objetivo realizar a secagem da casca do achachairu em diferentes temperaturas e determinar a difusividade efetiva, energia de ativação e as propriedades termodinâmicas do processo de secagem.

## Material e Métodos

Os frutos do achachairu (*Garcinia humilis*) foram adquiridos na Central de Abastecimento - CEASA Recife, Pernambuco, em seguida transportados para o Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)), onde foram lavados em solução de hipoclorito de sódio a 200 ppm, por 15 min e, posteriormente,

enxaguados em água corrente. Em seguida, foi separado manualmente as frações: casca, polpa e semente. As cascas foram submetidas a uma cinética de secagem nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80°C.



Figura 1. Fruta de Achachariu (fruta, casca e semente) utilizados para a secagem.

### **Difusividade efetiva**

Considerando as cascas do achachairu com geometria de uma placa plana (espessura média de 2mm), considerando também que a distribuição de água é uniforme e que a ausência de resistência térmica, a difusividade efetiva, foi calculada por meio do modelo de difusão de Fick (Equação 1), aplicando as seis primeiras raízes obtidas a partir da função de Bessel de primeiro tipo e ordem zero.

$$\begin{aligned} X^* = \frac{X_t - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = & \frac{8}{\pi^2} \exp\left(\frac{-\pi^2 D_{ef}}{4L^2} .t\right) + \frac{8}{9\pi^2} \exp\left(\frac{-9\pi^2 D_{ef}}{4L^2} .t\right) + \\ & \frac{8}{25\pi^2} \exp\left(\frac{-25\pi^2 D_{ef}}{4L^2} .t\right) + \frac{8}{49\pi^2} \exp\left(\frac{-49\pi^2 D_{ef}}{4L^2} .t\right) + \\ & \frac{8}{81\pi^2} \exp\left(\frac{-81\pi^2 D_{ef}}{4L^2} .t\right) + \frac{8}{121\pi^2} \exp\left(\frac{-121\pi^2 D_{ef}}{4L^2} .t\right) \end{aligned} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:  $X^*(t)$  é a razão de umidade no instante  $t$ ;  $L$  é a espessura;  $D_{ef}$  é a difusividade;  $t$  é o tempo.

### **Energia de ativação**

A relação entre a difusividade e as temperaturas de secagem foi descrita por meio da Equação de Arrhenius (Equação 2).

$$D_{ef} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{R(T + 273.15)}\right) \quad (\text{Eq.2})$$



Onde:  $D_0$  é uma constante chamada de fator pré-exponencial;  $R$  é a constante universal dos gases ideais ( $8.314 \text{ J mol.K}^{-1}$ ). Tal ajuste possibilita determinar a energia de ativação ( $E_a$ ).

### Propriedades termodinâmicas

As propriedades termodinâmicas de entalpia (Equação 3), entropia (Equação 4) e energia livre de Gibbs (Equação 5) relacionadas ao processo de secagem das cascas de achachairu foram determinadas pelo método descrito pela constante universal dos gases (SANTOS et al., 2019).

$$\Delta H = E_a - R(T + 273.15) \quad (\text{Eq.3})$$

$$\Delta S = R \left[ \ln D_0 - \ln \left( \frac{k_b}{h_p} \right) - \ln(T + 273.15) \right] \quad (\text{Eq.4})$$

$$\Delta G = \Delta H - (T + 273.15)\Delta S \quad (\text{Eq.5})$$

Onde:  $\Delta H$  é entalpia específica ( $\text{J mol}^{-1}$ );  $E_a$  é a energia de ativação;  $\Delta S$  é entropia específica ( $\text{J mol.K}^{-1}$ );  $\Delta G$  é a energia livre de Gibbs ( $\text{J mol}^{-1}$ );  $k_b$  é a constante de Boltzmann ( $1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$ );  $h_p$  é a constante de Planck ( $6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}^{-1}$ );  $T$  é a temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Através da linearização da Equação de Arrhenius foi possível obter o coeficiente  $\ln D_0$  da expressão de entropia ( $\Delta S$ ), em que foi utilizada a seguinte expressão (Equação 6).

$$\ln D = \ln D_0 - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{(T + 273.15)} \quad (\text{Eq.6})$$

### Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta os parâmetros do modelo de Fick para os seis termos da série destacando a determinação da difusividade efetiva, além de obter os valores da energia de ativação para cada termo pelo ajuste da equação de Arrhenius.

Tabela 1. Difusividade efetiva, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e função qui-quadrado ( $\chi^2$ ) em função do número de termos do modelo de Fick para as cinco temperaturas (40, 50, 60, 70 e 80°C) para a cinética de secagem das cascas de achachairu

T (°C)	Um termo			Dois termos		
	$D_{ef} \times 10^{-10}$ ( $m^2 s^{-1}$ )	$R^2$	$\chi^2$	$D_{ef} \times 10^{-10}$ ( $m^2 s^{-1}$ )	$R^2$	$\chi^2$
40	3,44	0,9280	0,0123	3,43	0,9587	0,0692
50	6,05	0,9335	0,0921	6,01	0,9584	0,0499
60	9,85	0,9340	0,0741	9,77	0,9569	0,0377
70	11,67	0,9497	0,0659	11,66	0,9745	0,0350
80	14,48	0,9499	0,0516	14,45	0,9753	0,0208
Ea (kJ mol <sup>-1</sup> )	27,773	0,9786	0,1169	27,646	0,9796	0,1158
T (°C)	Três termos			Quatro termos		
	$D_{ef} \times 10^{-10}$ ( $m^2 s^{-1}$ )	$R^2$	$\chi^2$	$D_{ef} \times 10^{-10}$ ( $m^2 s^{-1}$ )	$R^2$	$\chi^2$
40	3,37	0,9627	0,0463	3,38	0,9640	0,0419
50	6,03	0,9622	0,0425	6,03	0,9635	0,0387
60	9,76	0,9608	0,0286	9,81	0,9622	0,0270
70	11,65	0,9792	0,0253	11,64	0,9809	0,0199
80	14,45	0,9803	0,0110	14,47	0,9821	0,0682
Ea (kJ mol <sup>-1</sup> )	27,731	0,9790	0,1192	27,708	0,9785	0,1196
T (°C)	Cinco termos			Seis termos		
	$D_{ef} \times 10^{-10}$ ( $m^2 s^{-1}$ )	$R^2$	$\chi^2$	$D_{ef} \times 10^{-10}$ ( $m^2 s^{-1}$ )	$R^2$	$\chi^2$
40	3,38	0,9645	0,0393	3,44	0,9650	0,00321
50	6,03	0,9640	0,0360	6,03	0,9644	0,00342
60	9,81	0,9629	0,0242	9,81	0,9632	0,00224
70	11,64	0,9817	0,0170	11,64	0,9821	0,00150
80	14,46	0,9829	0,0321	14,47	0,9834	0,00162
Ea (kJ mol <sup>-1</sup> )	27,681	0,9784	0,1198	27,569	0,9792	0,11530

Note:  $D_{ef}$  é a difusividade efetiva; Ea é energia de ativação.

Ao ajustar o modelo de Fick variando o número de termos de 1 a 6, e temperaturas variando de 40 a 80°C aos dados experimentais da cinética de secagem das cascas do achachairu, observa-se que os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) variam de 92,80% para o 1º termo da série a 98,34% para os 6º termos da série e a função qui-quadrado ( $\chi^2$ ) varia de 0,0463 para o 1º termo da série a 0,00150 para os

6º termos da série. Segundo Lisboa et al. (2019) esse resultado sugere que com o aumento do número de termos da série é obtida uma equação mais característica do processo.

Observa-se também que com o aumento da temperatura de secagem de 40°C para 80°C, proporcionou aumento nos valores da difusividade de  $3,37 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  para  $14,35 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  utilizando apenas o primeiro termo da série. Ao usar o mesmo modelo com seis termos, valores semelhantes foram obtidos variando de  $3,44 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  para  $14,47 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ . Bezerra et al. (2015) encontraram maiores valores de difusividade em seus estudando de secagem da casca do maracujá variando  $0,3199$  a  $1,994 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  para faixa de temperatura de 50 a 70°C. Mghazli et al. (2017) ao estudarem o processo de secagem de folhas de alecrim, obtiveram valores de difusividade variando de  $2,55 \times 10^{-10}$  a  $15,51 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  com temperatura variando de 50 a 80°C.

Segundo Goleni et al. (2014), quando há aumento na temperatura, a viscosidade da água diminui e, sendo a viscosidade uma medida da resistência do fluido ao escoamento, variações desta propriedade implicam em alterações na difusão da água nos capilares da casca, de modo a favorecer a movimentação deste fluido no produto. De acordo com Fabbri et al. (2014), valores específicos de difusividade efetiva são escassos na literatura, em particular para alimentos. Pois, as propriedades físicas dos alimentos variam principalmente com a sua composição e temperatura.

A energia de ativação ( $E_a$ ) encontrada para a secagem das cascas do achachairu pelo primeiro termo da série foi de  $27,753 \text{ kJ mol}^{-1}$  e pelo sexto termo foi de  $27,569 \text{ kJ mol}^{-1}$ , resultado que corrobora com o relatado por Pinheiro et al. (2020), que secaram epicarpo dos frutos de cajá nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C e encontraram energia de ativação de  $21,50 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Sendo que o ajuste da equação de Arrhenius para os valores de difusividade do sexto termo da série apresentou uma redução no valor da energia de ativação, apresentando coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,9792 e função qui-quadrado ( $\chi^2$ ) de 0,1153. No entanto, os valores obtidos encontram-se dentro do intervalo de 12,7 a  $110 \text{ kJ mol}^{-1}$  relatado por Zogzas et al. (1996) para produtos agrícolas. Valores superiores aos do presente estudo foram obtidos por Alexandre et al. (2019) folhas de *Talinum triangulare* (Jacq.) Willd ( $46,724 \text{ kJ mol}^{-1}$ ); e por Resende et al. (2018) na secagem de frutos do baru ( $37,64 \text{ kJ mol}^{-1}$ ). Segundo Melo et al. (2016) e Leite et al. (2019), quanto menor a energia de ativação nos processos de secagem, maior a difusividade de água no produto.

Na Tabela 2, estão apresentadas as propriedades termodinâmicas obtidas na secagem das cascas de achachairu em diferentes temperaturas considerando-se os valores da difusividade efetiva e da energia de ativação do sexto termo da modelo de Fick.

Tabela 2. Propriedades termodinâmicas da cinética de secagem das cascas de achachairu

T (°C)	$\Delta H$ (kJ mol <sup>-1</sup> )	$\Delta S$ (J mol.K <sup>-1</sup> )	$\Delta G$ (kJ mol <sup>-1</sup> )
40	24,96	-144,70	70,26
50	24,88	-144,96	71,71
60	24,80	-145,22	73,15
70	24,72	-145,46	74,61
80	24,63	-145,71	76,06

Nota:  $\Delta H$  é a entalpia específica,  $\Delta S$  é a entropia específica;  $\Delta G$  é a energia livre de Gibbs.

A entalpia ( $\Delta H$ ) variou de 24,96 a 24,63 J mol<sup>-1</sup>, valores superiores com relação a este parâmetro foram obtidos nas menores temperaturas, indicando que o processo de evaporação da água presente no produto ocorre de maneira mais lenta nestas condições. Pois de acordo com Moraes et al. (2019), a  $\Delta H$  representa a energia necessária para promover a remoção da água da amostra durante o processo de secagem. Os autores observaram comportamento similar durante a secagem da polpa de bacava, que apresentou valores de  $\Delta H$  que variaram de 34,23 a 34,40 kJ mol<sup>-1</sup>.

As magnitudes obtidas para a entropia ( $\Delta S$ ) variaram de -144,70 a -145,71 J mol.K<sup>-1</sup>, observou-se uma tendência a redução deste parâmetro devido ao acréscimo na temperatura. Santos et al. (2019) verificaram comportamento semelhante na secagem de acuri, os autores obtiveram valores de entropia superiores, que variaram de -374,72 a -374,01 J mol.K<sup>-1</sup> e relacionaram a diminuição da entropia com a redução do teor de água durante o processo, que é o principal responsável pela restrição do movimento das moléculas. Segundo Costa et al. (2016) a entropia é uma grandeza termodinâmica capaz de indicar o grau de desordem de um sistema, além de representar o arranjo espacial das moléculas de água em relação ao produto. Além disso, os valores negativos da entropia podem ser atribuídos a ocorrência de alterações químicas ou a modificações na estrutura do produto durante o processo de secagem.

Os valores da energia livre de Gibbs ( $\Delta G$ ) foram positivos e variaram de 70,26 a 76,06 kJ mol<sup>-1</sup>. Segundo Martins et al. (2015), valores positivos para a energia livre de Gibbs indicam que o processo não aconteceu de maneira espontânea, dimensionando o trabalho necessário para a ocorrência de processos de sorção. Guimarães et al. (2018) encontraram valores de energia livre de Gibbs que variaram de 78,28 a 83,34 kJ mol<sup>-1</sup> ao determinarem as propriedades termodinâmicas na secagem de okara utilizando as temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C.

## Conclusão

A difusividade efetiva variou de 3,44 a 14,47 x 10<sup>-10</sup> m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> e a energia de ativação de 27,773 a 27,569 kJ mol<sup>-1</sup>, dependendo do número de termos utilizados no modelo de Fick.

A entalpia e a entropia são positivas e negativas, respectivamente, diminuindo com o aumento da temperatura e, portanto, indicando que o processo é endotérmico. Os valores da energia livre de Gibbs indicaram que o processo não ocorre espontaneamente

## **Referências**

- BARROS, R. G. C.; ANDRADE, J. K. S.; DENADAI, M.; NUNES, M. L.; NARAIN, N. Evaluation of bioactive compounds potential and antioxidant activity in some Brazilian exotic fruit residues. *Food Research International*, v.102, p.84–92, 2017.
- BEZERRA, C. V. B.; SILVA, L. H. M.; CORRÊA, D. F.; RODRIGUES, A. M. C. A modeling study for moisture diffusivities and moisture transfer coefficients in drying of passion fruit peel. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v.85, p.750-755, 2015.
- CAO, S.; BRODIE, P. J.; MILLER, J. S.; RATOVOSON, F.; BIRKINSHAW, C.; RANDRIANASOLO, S.; RAKOTOBÉ, E.; RASAMISON, V. E.; KINGSTON, D. G. Guttiferones K and L, antiproliferative compounds of *Rheedia calcicola* from the Madagascar rain forest. *J. Nat. Prod.*, v.70, p.686–688, 2007.
- COSTA, C. F.; CORRÊA, P. C.; VANEGAS, J. D. B.; BAPTESTINI, F. M.; CAMPOS, R. C.; FERNANDES, L. S. Mathematical modeling and determination of thermodynamic properties of jabuticaba peel during the drying process. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.20, n.6, p.576-580, 2016.
- DAL MOLIN, M. M.; SILVA, S.; ALVES, D. R.; QUINTÃO, N. L. M.; MONACHE, F. D.; CECHINEL FILHO, V.; NIERO R. Phytochemical analysis and antinociceptive properties of the seeds of *Garcinia achachairu*. *Archives Pharmacal Research*, v.35, n.4, p.623-631, 2012.
- DE FARIAS LEITE, D. D.; DOS SANTOS, F. S.; DA COSTA SANTOS, D.; LISBÔA, J. F.; de LIMA FERREIRA, J. P.; QUEIROZ, A. J. M. Modelagem matemática da cinética de secagem da casca do abacaxi. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.12, n.4, p.769-774, 2017.
- FABBRI, A.; CEVOLI, C.; TRONCOSO, R. Moisture diffusivity coefficient estimation in solid food by inversion of a numerical model. *Food Research International*, v.56, p.63-67, 2014.
- GOLENI, A. L. D.; VIEIRA, M. C.; VILHASANTE, H. C. B.; GONÇALVES, A. A. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.44, n.1, p.56-64, 2014.
- GUIMARÃES, R. M.; OLIVEIRA, D. E. C. DE; RESENDE, O.; SILVA, J. DE S.; REZENDE, T. A. M. DE; EGEE, M. B. Thermodynamic properties and drying kinetics of “okara.” *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, n.6, p.418-423, 2018.
- JIANG, N.; LIU, C.; LI, D.; ZHANG, Z.; LIU, C.; WANG, D.; NIU, L.; ZHANG, M. Evaluation of freeze drying combined with microwave vacuum drying for functional okra snacks: Antioxidant properties, sensory quality, and energy consumption. *LWT - Food Science and Technology*, v.82, n.1, p.216-226, 2017.

- LEITE, D. D. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; LIMA, L. S. L. Mathematical drying kinetics modeling of jackfruit seeds (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). *Revista Ciência Agronômica*, v.50, n.3, p.361-369, 2019.
- LI, H.; XIE, L.; MA, Y.; ZHANG, M.; ZHAO, Y.; ZHAO, X. Effects of drying methods on drying characteristics, physicochemical properties and antioxidant capacity of okra. *LWT - Food Science and Technology*, v.101, p.630-638, 2018.
- LIM, T. K. *Garcinia humilis*. In: *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants*. Dordrecht: Springer, p.59–61, 2012.
- LISBOA, H. M.; ARAUJO, H.; PAIVA, G.; ORIENTE, S.; PASQUALI, M.; DUARTE, M. E.; MATA, M. E. C. Determination of characteristic properties of mulatto beans (*Phaseolus vulgaris* L.) during convective drying. *Journal of Agriculture and Food Research*, v.1, e100003, 2019.
- KONZIASE, B. Protective activity of bifavanones from *Garcinia kola* against Plasmodium infection. *J. Ethnopharmacol*, v.172, p.214–218, 2015.
- KUMAR, S. K.; SAXENA, D. C. Drying kinetics of banana peel. *International Journal of Applied Research*, v.2, n.1, p.43-45, 2016.
- MARIANO, L. N. B.; SILVA, L. M.; SOUZA, P.; BOEING, T.; SOMENSI, L. B.; BONOMINI, T. J.; MONACHE, F. D.; CECHINEL FILHO, V.; ANDRADE, S. F.; NIERO, R. Gastroprotective xanthenes isolated from *Garcinia achachairu*: Study on mucosal defensive factors and H<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATPase activity. *Chem-Biol. Interact.*, v.258, p.30–39, 2016.
- MARTINS, E. A. S.; LAGE, E. Z.; GONELI, A. L. D.; HARTMANN FILHO, C. P. H.; LOPES, J. G. Cinética de secagem de folhas de timbó (*Serjania marginata* Casar). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n.3, p.238-244, 2015.
- MARTINS, F. T.; DORIGUETTO, A. C.; SOUZA, T. C.; SOUZA, K. R.; DOS SANTOS, M. H.; MOREIRA, M. E.; BARBOSA, L. C. Composition, and anti-inflammatory and antioxidant activities of the volatile oil from the fruit peel of *Garcinia brasiliensis*. *Chem. Biodivers.*, v.2, p.251–258, 2008.
- MELO, M. S.; BENETT, C. G. S.; MELO, B. S.; LOURENÇO, S. L. O.; BARBOZA, F. S. Physical-chemical analysis of achachairu fruits collected in different plant parts. *Revista de Agricultura Neotropical*, v.4, n.1, p.17-21, 2017.
- MELO, P. C.; DEVILLA, I. A.; LISBOA, C. F.; SANTOS, M. M.; DUARTE, P. H. T. Kinetics drying of *Spirulina platensis*. *African. Journal of Agricultural Research*, v.11, n.45, p.4683-4691, 2016.
- MGHAZLI, S.; OUHAMMOU, M.; HIDAR, N.; LAHNINE, L.; IDLIMAM, A.; MAHROUZ, M. Drying characteristics and kinetics solar drying of Moroccan rosemary leaves. *Renewable Energy*, v.108, p.303-310, 2017.
- MORAIS, M. F.; SANTOS, J. R. O.; SANTOS, M. P.; SANTOS, D. C.; COSTA, T. N.; LIMA, J. B. Modeling and thermodynamic properties of 'bacaba' pulp drying. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.23, n.9, p.702-708, 2019.

MPHAHLELE, R. R.; PATHARE, P. B.; OPARA, U. L. Drying kinetics of pomegranate fruit peel (cv. Wonderful). *Scientific African*, v.5, p.e00145, 2019.

OLIVEIRA, K. D. C.; SILVA, S. S.; LOSS, R. A.; GUEDES, S. F. Análise sensorial e físico-química de geleia de achachairu (*Garcinia humillis* (Vahl) C. D. Adam). *Segurança Alimentar e Nutricional*, v.26, n.1, p.1-10, 2019.

PARASHARAMI, V. A.; KUNDER, G. G.; DESAI, N. Recent pharmacological advances of endangered species of south India: *Garcinia indica* Choisy. *J. Sci. Res. Rep.*, v.8, n.5, p.1-10, 2015.

PATIL, M. M.; MUHAMMED, A. M.; ANU-APPAIAH, K. Lipids and fatty acid profiling of major Indian *Garcinia* Fruit: A comparative study and its nutritional impact. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, v.93, n.6, p.823-836, 2016.

PIMENTEL, M. R. da F. Caracterização qualitativa de frutos de achachairu (*Garcinia humilis* (Vahl) CD Adam) cultivados em Moreno-PE. 76p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2012.

RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; COSTA, L. M.; FERREIRA JÚNIOR, W. N. Cinética de secagem dos frutos de baru (*Dipteryx alata Vogel*). *Engenharia Agrícola*, v.32, n.1, p.103-109, 2018.

SANTOS, D. C.; LEITE, D. D. F.; LISBÔA, J. F.; FERREIRA, J. P. L.; SANTOS, F. S.; LIMA, T. L. B.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; COSTA, T. N. Modelling and thermodynamic properties of the drying of acuri slices. *Brazilian Journal of Food Technology*, v.22, e2018031, p.1-12, 2019.

SEMWAL, R. B.; SEMWAL, D. K.; VERMAAK, I.; VILJOEN, A. A. Comprehensive scientific overview of *Garcinia cambogia*. *Fitoterapia*, v.102, p.134-148, 2015.

VIRGOLIN, L. B. Caracterização físico-química de polpas de frutas do Bioma Amazônia. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. São José do Rio Preto, 2015.

ZOGZAS, N. P.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. *Drying Technology*, v.14, n.10, p.2225-2253, 1996.

## Capítulo IV

# **PARÂMETROS CINÉTICOS DURANTE O PROCESSO DE SECAGEM DA CASCA DE ABACAXI (*ANANAS COMOSUS* L. MERRYL)**

**Virgínia Mirtes de Alcântara Silva  
Raphael Lucas Jacinto Almeida  
Newton Carlos Santos  
Victor Herbert de Alcântara Ribeiro  
Ângela Maria Santiago  
Mércia Melo de Almeida Mota**

### **Introdução**

O abacaxi (*Ananas comosus* L. Merrill) é uma fruta tropical muito popular em todo o mundo devido à sua excelente qualidade, sabor especial e riqueza nutricional (SUN et al., 2016), apresentando uma produção global de 25 milhões toneladas anualmente (NABAVI & SILVA, 2018). O Brasil é o segundo produtor mundial e tem um consumo interno significativo de abacaxi (ALTENDORF et al., 2017). Sendo bastante consumido como fruta fresca ou como produtos de valor agregado, por exemplo, suco e geleia, onde uma grande quantidade de casca de abacaxi é substancialmente produzida e descartada, cuja utilização efetiva merece uma atenção especial porque é urgente e significativo para resolver o desperdício de recursos biológicos e questões de poluição ambiental (DAI & HUANG, 2016).

A casca do abacaxi possui várias vitaminas, flavonóides como a miricetina e ácidos fenólicos como o ácido caféico, ácido p-cumárico e ácido ferúlico. Segundo Banerjee et al. (2019) a casca de abacaxi pode ser amplamente utilizada como fonte de hemicelulose. É relatado que as cascas de abacaxi possuem 22-35% de hemicelulose em base seca (PARDO et al., 2014) e é rica em outras componentes valiosos, como a bromelina, que têm um enorme valor no setor alimentar e terapêutico (BANERJEE et al., 2018). Por esse motivo, Aruna et al. (2019) trabalharam com a casca de abacaxi como substrato na fermentação em estado sólido, como forma de agregar valor ao produto.



Várias pesquisas já foram realizadas com o objetivo de estudar o processo de secagem de diversas cascas de frutos: casca de maçã (*Malus doméstica*) (MOUSSAOUI et al., 2021); casca de pitomba (*Talisia esculenta*) (SANTOS et al., 2020); cascas de maracujá (*Passiflora ligularis*) (LIMA et al., 2020); casca de laranja (*Citrus sinensis*) (BECHLIN et al., 2020), casca de toranjas (*Citrus paradisi Macf.*) (SANTOS et al., 2020).

A utilização do processo de secagem proporciona a redução do teor de água até níveis seguros para o armazenamento, e o conhecimento das propriedades termodinâmicas na secagem é importante fonte de informação para projetar equipamentos, calcular a energia requerida no processo, estudar as propriedades da água adsorvida e avaliar a microestrutura dos alimentos, bem como para o estudo dos fenômenos físicos que ocorrem na superfície dos mesmos (CORRÊA et al., 2010; RESENDE et al., 2010; SANTOS et al., 2019; BARROS et al., 2020).

Portanto, o presente trabalho tem por objetivo realizar a cinética de secagem da casca de abacaxi em diferentes temperaturas e ajustar modelos matemáticos empíricos e difusivos aos dados experimentais.

## Material e Métodos

Os abacaxis foram adquiridos na feira de livre da cidade de Campina Grande – PB e foram transportadas para o laboratório, onde inicialmente foram lavadas em água clorada a 2,5% e enxaguadas com água corrente da rede de abastecimento. De forma manual os abacaxis foram descascados com auxílio de facas domésticas e sendo assim separando-se em casca, polpa e cilindro central.



Figura 1. Abacaxi (*Ananas comosus* L. Merrill) e cascas utilizadas para a secagem.

As cascas foram colocadas em telas de aço inoxidável, e uniformemente espalhadas. Para iniciar o experimento, as bandejas foram colocadas em um secador com circulação de ar com velocidade de 1,5 m/s, para a realização das cinéticas de secagem nas temperaturas de 45, 55 e 65°C, onde no início e no

final das secagens foram determinadas as massas secas e calculados os teores de água de acordo com Brasil (2008).

Através dos dados experimentais, foi possível calcular os valores da razão do teor de água (Equação 1).

$$X^* = \frac{X_{bs} - X_e}{X_{bs(inicial)} - X_e} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:  $X^*$  é a razão de umidade (adimensional);  $X_e$  é o teor de água de equilíbrio em base seca;  $X_{bs}$  é o teor de água em base seca;  $X_{bs}$  (inicial) é o teor de água inicial em base seca.

Com o cálculo da razão de teor de água das cascas de abacaxi, traçaram-se as curvas da cinética de secagem, representada pela razão do teor de água em função do tempo de secagem em minutos, aplicando os modelos matemáticos (Tabela 1) de Newton, Page e Parry (Equações 2, 3 e 4) para ajustar os dados experimentais.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para descrever o processo de secagem

Modelo	Equação	
Newton	$X^* = \exp(-k.t)$	(Eq.2)
Page	$X^* = \exp(-k.t^n)$	(Eq.3)
Parry	$X^* = a.\exp(-k.t) + c$	(Eq.4)

Nota:  $X^*$ : Razão de umidade (adimensional);  $k$ : constante de secagem; “a”, “n” e “c”: parâmetros dos modelos;  $t$ : tempo de secagem.

Para análise dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados experimentais, foi utilizado o programa computacional STATISTICA, versão 7, utilizando-se a análise de regressão não-linear, pelo método Quasi-Newton. Os modelos foram selecionados tomando-se como parâmetro a magnitude do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e a função qui-quadrado ( $\chi^2$ ) (Equação 5).

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{exp,i}^* - X_{pre,i}^*)^2}{N - n} \quad (\text{Eq.5})$$

Onde:  $\chi^2$ : é a função qui-quadrado;  $X_{exp,i}^*$ : é a razão de umidade experimental;  $X_{pre,i}^*$ : é a razão de umidade prevista pelo modelo;  $N$ : é o número de dados experimentais; e  $n$ : é o número de coeficientes e constantes do modelo.

### **Solução analítica da equação de difusão**

O teor médio de umidade do sólido com geometria de parede infinita no momento  $t$  é dado por (LUIVOK, 1968), desconsiderando-se a contração volumétrica.

$$X^*(t) = \sum_{n=1}^{16} B_n \exp\left(-\mu_n^2 \frac{Def}{(L/2)^2} t\right) \quad (\text{Eq.6})$$

Onde:  $X^*(t)$  é a razão de umidade no instante  $t$ ;  $L$  é a espessura;  $Def$  é a difusividade;  $t$  é o tempo.

Os parâmetros da Equação 6, foram obtidos através das Equações 7, 8 e 9.

$$B_n = \frac{2Bi^2}{\mu_n^2(Bi^2 + Bi + \mu_n^2)} \quad (\text{Eq.7})$$

$$Bi = \frac{h(L/2)}{Def} \quad (\text{Eq.8})$$

Onde:  $h$  é o coeficiente convectivo de transferência de calor;  $Bi$  é o número de Biot.

$$\cot \mu = \frac{\mu}{Bi} \quad (\text{Eq.9})$$

Onde, a Equação 9 é característica para a parede infinita.

Para obtenção da solução analítica da equação de difusão a otimização do processo foi feita de acordo com as metodologias propostas por Silva et al. (2010).

### **Resultados e Discussão**

Na Tabela 2, estão apresentados os valores obtidos para cada parâmetro dos modelos matemáticos de Newton, Page e Parry ajustados aos dados experimentais da cinética de secagem das cascas de abacaxi nas temperaturas de 45, 55, 65°C.

Tabela 2. Parâmetros obtidos pelo ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais da cinética de secagem da casca de abacaxi

Modelo	T (°C)	Parâmetros		
		a	k	n/c
Newton	45	-	0,01151	-
	55	-	0,01341	-
	65	-	0,01572	-
Page	45	-	0,00971	1,04071
	55	-	0,01129	1,00947
	65	-	0,02235	0,91123
Parry	45	1,00856	0,01221	0,01504
	55	0,98906	0,01362	0,00881
	65	0,96027	0,01463	0,00114

Pode-se observar através da Tabela 2, que para todos os modelos matemáticos aplicados a constante de secagem “k” apresenta-se um aumento da temperatura. Fato este também observado por Santos et al. (2017), ao realizarem a cinética de secagem de cascas de pitaya nas temperaturas de 50, 60 e 70°C. O parâmetro “k” tende a aumentar, visto que, maiores temperaturas acarretam maiores taxas de secagem chegando ao teor de água de equilíbrio em menor tempo de submissão do produto ao ar de secagem (CORRÊA et al., 2010; NASCIMENTO et al., 2018).

O parâmetro “n” do modelo de Page apresenta redução nos seus valores conforme se teve aumento da temperatura de secagem. Comportamento este diferente do observado por Martins et al. (2014) em seus estudos de secagem. E os parâmetros “a” e “c” do modelo de Parry, também apresentaram comportamento definido com incremento da temperatura, ou seja, reduziram. Este mesmo comportamento também foi observado por Almeida et al. (2020) em seus estudos de secagem.

Na Tabela 3, pode-se observar os valores obtidos para os parâmetros estatísticos pelo ajuste dos modelos matemáticos de Newton, Page e Parry ajustados aos dados experimentais da cinética de secagem das cascas de abacaxi nas temperaturas de 45, 55, 65°C.

Tabela 3. Parâmetros estatísticos obtidos pelo ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais da cinética de secagem da casca de abacaxi

<b>Modelo</b>	<b>T (°C)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b><math>\chi^2</math></b>	<b>DR</b>
Newton	45	0,9987	0,02982	Aleatória
	55	0,9951	0,03465	Aleatória
	65	0,9842	0,07640	Tendenciosa
Page	45	0,9989	0,001831	Aleatória
	55	0,9978	0,001552	Aleatória
	65	0,9982	0,001234	Aleatória
Parry	45	0,9976	0,01152	Tendenciosa
	55	0,9931	0,05222	Tendenciosa
	65	0,9924	0,03947	Aleatória

Nota: R<sup>2</sup> – Coeficiente de determinação;  $\chi^2$  - função qui-quadrado; DR – Distribuição de Resíduos.

Para todos os modelos aplicados o coeficiente de terminação apresentou valores superiores a 0,99 (R<sup>2</sup> > 0,99), exceto para o modelo matemático de Newton na temperatura de 65°C que foi de 0,9848. Como o R<sup>2</sup> não constitui um bom parâmetro para representação do fenômeno de secagem, ainda foram avaliadas a função qui-quadrado e a tendência de distribuição de resíduos.

Com relação aos valores obtidos para função qui-quadrado os modelos matemáticos de Newton (65°C) e de Parry (55°C) obtiveram os maiores valores 0,07640 e 0,05222, respectivamente. No entanto, o modelo de Page apresentou os menores valores dessa função variando de 0,00132 a 0,001831. No que se refere a distribuição dos resíduos os modelos de Newton apresentaram distribuição tendenciosa para temperatura de 65°C e o modelo de Parry para as temperaturas de 45 e 55°C. Apenas o modelo de Page apresentou distribuição aleatória para todas as temperaturas aplicadas.

Mesmo quando os parâmetros estatísticos apresentam bons resultados, o modelo pode ser ineficaz se apresentar distribuição de resíduo tendenciosa (BAPTESTINI et al., 2015; SANTOS et al., 2019). Sendo, portanto, o modelo matemático de Page que melhor descreve o processo de secagem das cascas de abacaxi nas temperaturas de 45, 55 e 65°C.

Leite et al. (2017), ao também realizarem a cinética de secagem em cascas de abacaxi, porém nas temperaturas de 75 e 85°C verificaram que, o modelo matemático de Page foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais. Santos et al. (2020), em seus estudos de secagem com casca de pitomba, observaram que o modelo de Page também foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.

Na Figura 1, têm-se o ajuste do modelo matemático de Page aos dados experimentais das cinéticas para as temperaturas em estudo.

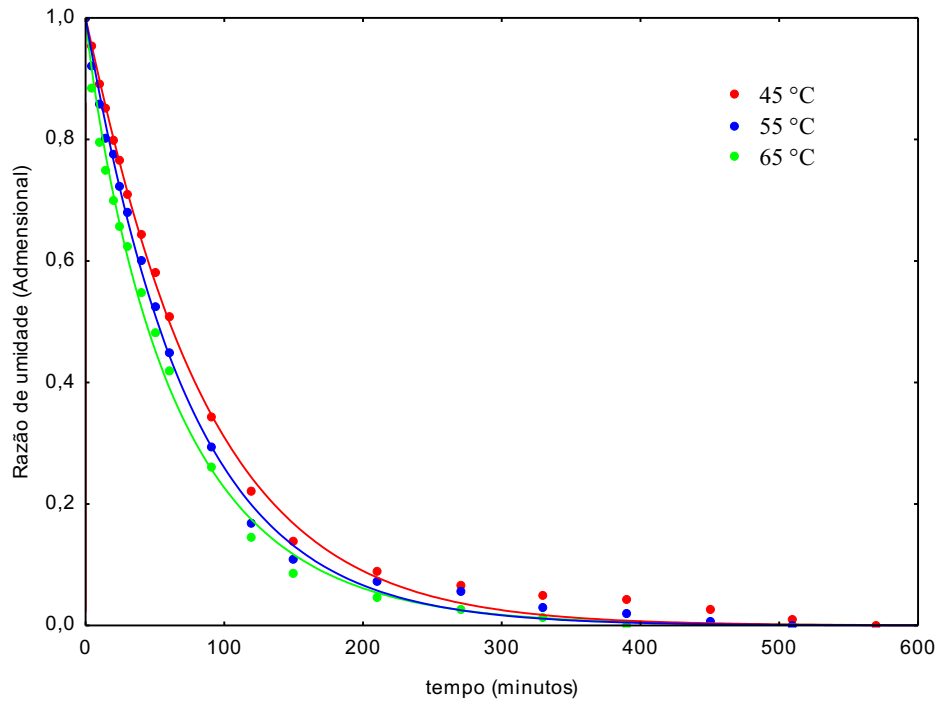


Figura 1. Ajuste do modelo matemático de Page aos dados experimentais da cinética de secagem da casca de abacaxi.

Pode-se observar que, quando se teve aumento na temperatura de secagem, menores foram os tempos para que as cascas atingissem o equilíbrio, correspondendo a 570, 510 e 390 min, para as respectivas temperaturas 45, 55 e 65°C.

Na Figura 2, estão apresentados os gráficos de histogramas para a distribuição do erro experimental da cinética de secagem das cascas de abacaxi.

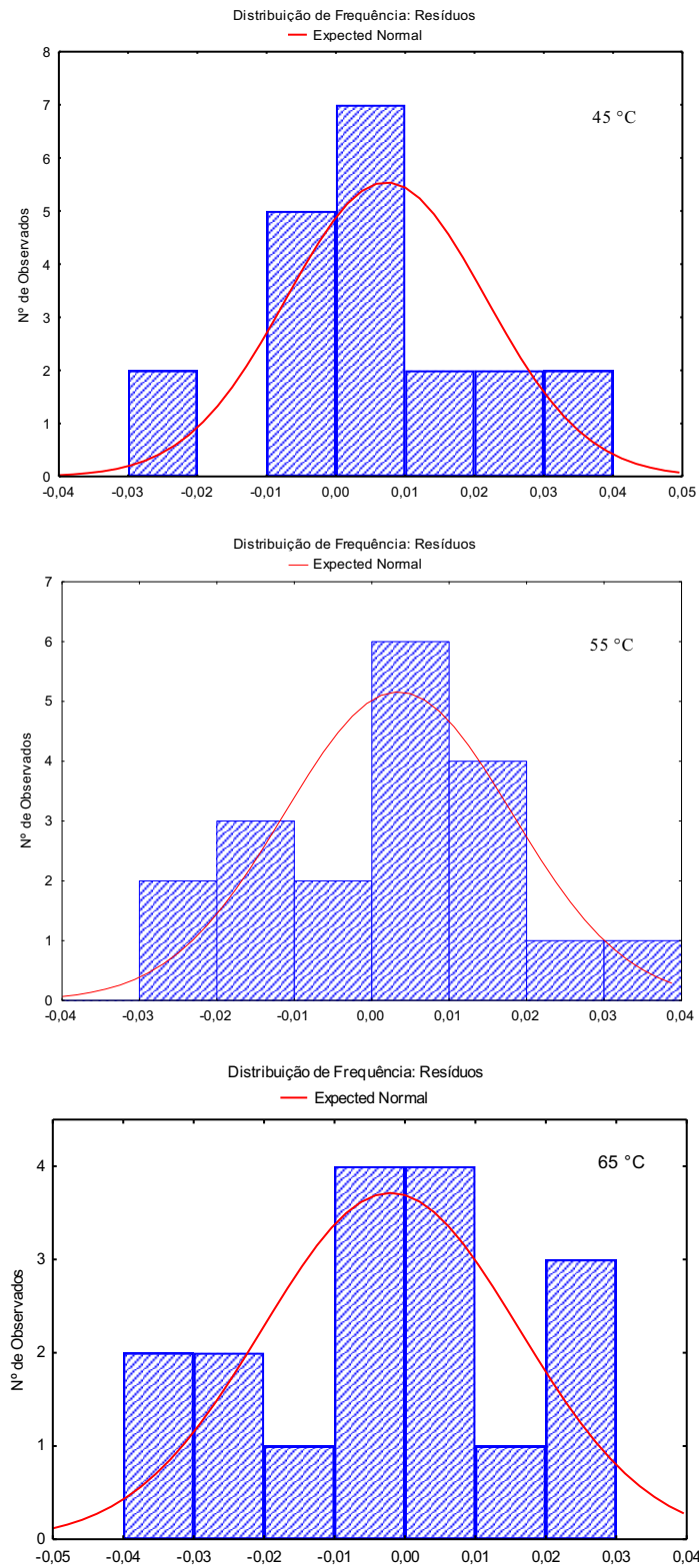


Figura 2. Gráficos de histograma para o erro experimental das cinéticas de secagem das cascas de abacaxi.

Observa-se que os histogramas apresentaram valor médio no meio da amplitude dos dados e as frequências se tornaram mais baixas nas direções dos extremos, porém não de forma gradual. Na Tabela

4, pode-se observar os valores obtidos para solução analítica considerando-se a geometria de uma parede infinita que apresenta bons coeficientes de determinação  $R^2$  superior a 0,99 e baixos valores da função qui-quadrado.

Tabela 4. Resultados obtidos por solução analítica da cinética de secagem das cascas de abacaxi

<b>T (°C)</b>	<b><math>D_{ef}</math> (<math>m^2 \cdot min^{-1}</math>)</b>	<b><math>h</math> (<math>m \cdot min^{-1}</math>)</b>	<b>Nº de Biot</b>	<b><math>R^2</math></b>	<b><math>\chi^2</math></b>
45	$2,17 \times 10^{-8}$	$3,07 \times 10^{-5}$	0,0175	0,9982	$5,945 \times 10^{-3}$
55	$4,39 \times 10^{-8}$	$3,83 \times 10^{-5}$	0,44	0,9981	$4,737 \times 10^{-3}$
65	$5,46 \times 10^{-8}$	$8,73 \times 10^{-5}$	4,00	0,9979	$3,944 \times 10^{-3}$

Os valores da difusividade variaram de  $2,17$  a  $5,46 \times 10^{-8}$  ( $m^2 \cdot min^{-1}$ ) quando a temperatura de secagem variou de  $45$  a  $65$  °C, visto que quando a temperatura é elevada a viscosidade da água diminuiu, facilitando assim a sua remoção. Para Silva et al. (2018), o aumento da temperatura do ar de secagem acarreta em uma maior taxa de remoção de água do produto.

Os valores do coeficiente convectivo de transferência de calor tiveram uma tendência a proporcionalidade direta segundo o teste de correlação (+0,9212) com o aumento da temperatura de secagem variando de  $3,07$  a  $8,73 \times 10^{-5}$  ( $m \cdot min^{-1}$ ). Podendo-se afirmar que, dentre as temperaturas aplicadas, a temperatura de  $65$ °C possibilitou maior quantidade de calor transferida para o produto. Santos et al. (2019) obtiveram valores variando  $1,51$  a  $1,79 \times 10^{-6}$  ( $m \cdot min^{-1}$ ) para secagem de fatias de pêssgo nas temperaturas de  $50$ ,  $60$  e  $70$ °C.

Com relação aos valores obtidos para o número de biot, também foi observado uma relação direta (+0,9102) com o aumento da temperatura. Esses baixos valores indicam que, a condição de contorno utilizada (terceiro tipo) descreveu de forma satisfatória o processo. Segundo Giner et al. (2010) e Bezerra et al. (2015), o número de Biot é um número adimensional que correlaciona a taxa de condução interna com a taxa de convecção externa e é capaz de indicar a resistência interna do produto ao processo de transferência de calor e massa.

Na Figura 3, é possível observar a distribuição espacial de umidade no interior do produto no tempo específico de 120 minutos para as três temperaturas do processo.



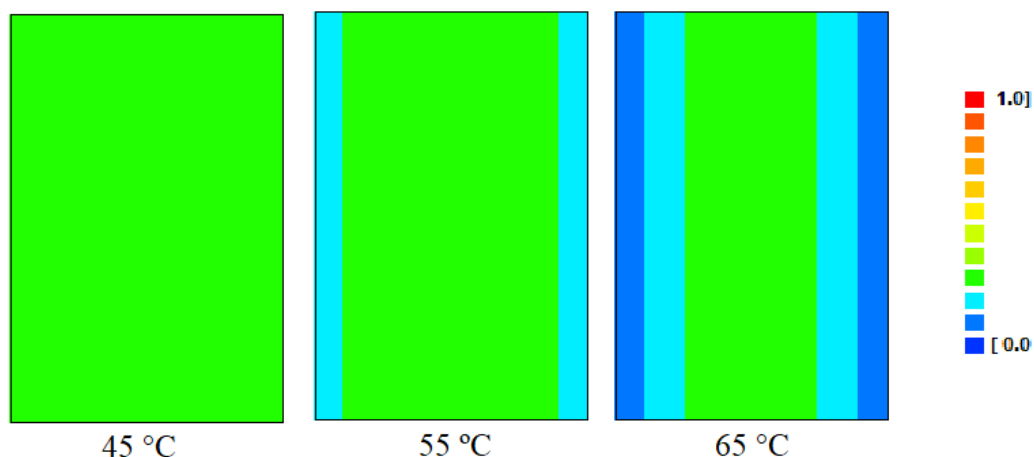


Figura 3. Distribuição espacial de umidade no interior do produto no tempo de 120 minutos.

Através da Figura 3, percebe-se que o teor de umidade adimensional, diminui nas regiões periféricas e aumenta na parte central, ou seja, o processo de redução do teor de umidade se deu de fora para dentro do produto. E que na temperatura de 45°C no mesmo intervalo de tempo ( $t=120$  min), ainda não se tinha uma variação expressiva de umidade devido a sua exposição a uma baixa temperatura.

### Conclusão

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que o modelo de Page foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais da cinética de secagem da casca de abacaxi, pois apresentou elevados valores para o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), menores valores para a função qui-quadrado e distribuição aleatória para todas as temperaturas aplicadas.

Os valores da difusividade e coeficiente convectivo obtiveram influência do aumento da temperatura, apresentando tendência a proporcionalidade direta e os baixos valores do número de Biot indicam que a condição de contorno utilizada (terceiro tipo) descreveu de forma satisfatória o processo.

Como sugestão de trabalhos futuros, após o processo de secagem pode-se triturar a casca para obter uma farinha e utilizá-la como substrato na fermentação para produção de proteína ou utilizar a farinha para extração de pectina visando a produção de biofilme, como forma de agregar valor ao produto.

### Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão das bolsas de mestrado e doutorado aos autores.

## Referências

- ALMEIDA, R.; SANTOS, N.; PEREIRA, T.; QUEIROGA, A.; SILVA, V.; RIBEIRO, V.; ARAÚJO, R.; CABRAL, M.; SILVA, L.; BORGES, E. Cinética de secagem do feijão azuki: modelagem matemática e propriedades termodinâmicas. *Research, Society and Development*, v.9, n.3, e27932316, 2020.
- ALTENDORF, S. Major tropical fruits market review 2017. Rome: FAO. p.10, 2019.
- ARUNA, T. E. Production of value-added product from pineapple peels using solid state fermentation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v.57, p.102193, 2019.
- BANERJEE, S.; RANGANATHAN, V.; PATTI, A.; ARORA, A. Valorisation of pineapple wastes for food and therapeutic applications. *Trends in Food Science & Technology*, v.82, p.60-70, 2018.
- BANERJEE, S.; PATTI, A. F.; RANGANATHAN, V.; ARORA, A. Hemicellulose based biorefinery from pineapple peel waste: Xylan extraction and its conversion into xylooligosaccharides. *Food and Bioproducts Processing*, v.117, p.38-50, 2019.
- BARROS, S.; CÂMARA, G.; LEITE, D.; SANTOS, N.; SANTOS, F.; SOARES, T.; LIMA, A.; SOARES, T.; OLIVEIRA, M.; VASCONCELOS, U.; ALBUQUERQUE, A.; QUEIROZ, A. Modelagem matemática da cinética de secagem de cascas do kimo (*Cucumis metuliferus*). *Research, Society and Development*, v.9, n.1, p.e60911608, 2020.
- BECHLIN, T. R.; GRANELLA, S. J.; CHRIST, D.; COELHO, S. R. M.; PAZ, C. H. D. O. Effects of ozone application and hot-air drying on orange peel: moisture diffusion, oil yield, and antioxidant activity. *Food and Bioproducts Processing*, v.123, p.80-89, 2020.
- BEZERRA, C. V.; MELLER DA SILVA, L. H.; CORRÊA, D. F.; RODRIGUES, A. M. C. A modeling study for moisture diffusivities and moisture transfer coefficients in drying of passion fruit peel. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v.85, p.750-755, 2015.
- BRASIL. Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4ª ed. 1ª ed. Digital, São Paulo, 2008. 1020p.
- CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M.; GONELI, A. L. D.; CARVALHO, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. *Revista Ceres*, v.57, n.5, p.595- 601, 2010.
- DAI, H.; HUANG, H. Modified pineapple peel cellulose hydrogels embedded with sepia ink for effective removal of methylene blue. *Carbohydrate Polymers*, v.148, p.1-10, 2016.
- GINER, S. A.; IRIGOYEN, R. M. T.; CICUTTÍN, S.; FIORENTINI, C. The variable nature of Biot numbers in food drying. *Journal of Food Engineering*, v.101, n.2, p.214–222, 2010.
- LEITE, D. D. F.; DOS SANTOS, F. S.; DA COSTA SANTOS, D.; LISBÔA, J. F.; DE LIMA FERREIRA, J. P.; QUEIROZ, A. J. M. Modelagem matemática da cinética de secagem da casca do abacaxi. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.12, n.4, p.769-774, 2017.
- LUIKOV, A. V. Analytical Heat Diffusion Theory. Academic Press, Inc., Ltd. London, 1968. 684p.

- MOUSSAOUI, H.; BAHAMMOU, Y.; TAGNAMAS, Z.; KOUHILA, M.; LAMHARRAR, A.; IDLIMAM, A. Application of solar drying on the apple peels using an indirect hybrid solar-electrical forced convection dryer. *Renewable Energy*, v.168, p.131-140, 2021.
- NABAVI, S. M.; SILVA, A. S. (Eds.). *Nonvitamin and nonmineral nutritional supplements*. Academic Press. 2018. 517p.
- NASCIMENTO, A. P. S.; BARROS, S. L.; SANTOS, N. C.; ARAÚJO, A. J. B.; CAVALCANTI, A. S. R. R. M.; DUARTE, M. E. M. Secagem convectiva e influência da temperatura nas propriedades físico-químicas das amêndoas de girassol comercial. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.20, n.3, p.227-238, 2018.
- PARDO, M. E. S.; CASSELLIS, M. E. R.; ESCOBEDO, R. M.; GARCÍA, E. J. Chemical characterisation of the industrial residues of the pineapple (*Ananas comosus*). *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, v.3, n.2, p.53-56, 2014.
- SANTOS, F. S. D.; DE FIGUEIRÊDO, R. M.; QUEIROZ, A. J. D. M.; SANTOS, D. D. C. Cinética de secagem e caracterização física e química de cascas de pitaya com polpa branca. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.21, n.12, p.872-877, 2017.
- SANTOS, N. C.; BARROS, S. L.; MONTEIRO, S. S.; SILVA, S. N.; RIBEIRO, V. H. A.; SILVA, V. M. A.; ARAÚJO, R. D. F. Kinetics of Drying and Physical-Chemical Quality of Peach cv. Hubimel. *Journal of Agricultural Science*, v.11, n.16, p.223-232, 2019.
- SANTOS, N.; ALMEIDA, R.; PEREIRA, T.; QUEIROGA, A.; SILVA, V.; AMARAL, D.; ALMEIDA, R.; RIBEIRO, V.; BARROS, E.; SILVA, L. Modelagem matemática aplicada a cinética de secagem das cascas de (*Talisia esculenta*). *Research, Society and Development*, v.9, n.2, e46921986, 2020.
- SILVA, I. L.; SILVA, H. W. D.; DE CAMARGO, F. R.; DE FARIAS, H. F.; FREITAS, E. D. F. Secagem e difusividade de sementes de melão. *Revista de Ciências Agrárias*, v.41, n.2, p.21-30, 2018.
- SILVA, W. P.; PRECKER, J. W.; E SILVA, C. M.; GOMES, J. P. Determination of effective diffusivity and convective mass transfer coefficient for cylindrical solids via analytical solution and inverse method: Application to the drying of rough rice. *Journal of food Engineering*, v.98, n.3, p.302-308, 2010.
- SUN, G.; ZHANG, X.; SOLER, A.; MARIE-ALPHONSINE, P. A. Nutritional composition of pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr.). *Nutritional composition of fruit cultivars*. Academic Press. p.609-637. 2016.

## **Curriculum dos Autores**

**Ângela Maria Santiago:** Possui graduação em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual da Paraíba (1983), graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal da Paraíba (1982), especialização em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba (1985), mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal da Paraíba (1998) e Doutorado em Engenharia de Processo pela Universidade Federal de Campina Grande (2012). Atualmente é professor efetivo da Universidade Estadual da Paraíba. Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em Ciência e Tecnologia de Alimentos e produção de enzimas.

**Dra. em Engenharia de Processos, Prof. do Departamento de Química, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, UEPB/CCT/DQ/Campus Campina Grande-PB, [angelamariasantiago01@gmail.com](mailto:angelamariasantiago01@gmail.com)**

**Mércia Melo de Almeida Mota:** Graduação em Química Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba (1995) e Mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal da Paraíba (1999). Doutorado em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande (2007). Tendo lecionado na ULBRA (Universidade Luterana do Brasil) nos cursos de Agronomia e Bacharelado em Informática, por dois anos (1999-2001) no Campus de Ji-Paraná - RO. Foi pesquisadora bolsista do CNPq - DTI2 no Laboratório de Engenharia Bioquímica do CCT/UFCG (2008-2009). Foi professora da Unidade Acadêmica de Tecnologia de Alimentos, UFCG/Campus Pombal-PB (2009-2013). Atua na Pós-graduação (Mestrado) em Sistemas Agroindustriais (PPGSA), da UFCG/CCTA/Pombal. Foi professora do curso de Química Industrial do Departamento de Engenharia Química, UFPB/CT/Campus João Pessoa. Atualmente é professora do curso de Engenharia de Alimentos da UAEAli da UFCG/CTRN/Campus de Campina Grande. Tem experiência em processos biotecnológicos, com ênfase em Engenharia Bioquímica, atuando principalmente nos seguintes temas: produção de bioprodutos (etanol, enriquecidos nutricionais, bebida fermentada/fermento-destillada e vinagre), hidrólises ácida e enzimática da matéria-prima lignocelulósica bagaço do pedúnculo do caju, produção de chás fermentados (kombucha).

**Dra. em Engenharia de Processos, Prof. do Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG/CTRN/UAEAli/Campus Campina Grande - PB, [mercia01@gmail.com](mailto:mercia01@gmail.com)**

**Newton Carlos Santos:** Bacharel em Química Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB); Professional Internship realizado na ASA Indústria e Comércio - Vitamilho, trabalhando no setor de Controle de Qualidade; Especialista em Ciências e Tecnologia dos Alimentos pelo Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN); Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), atuando na área de Transferência de Calor e Massa com ênfase em Refrigeração e Secagem de Alimentos. Atualmente é Doutorando em Engenharia Química na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

**Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN/CCT/UAEQ/Campus Natal-RN, newtonquimicoindustrial@gmail.com**

**Raphael Lucas Jacinto Almeida:** Bacharel em Química Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba (2017), onde trabalhou na área de microbiologia e produção de bebida láctea probiótica; Professional Internship (2017) realizado na Indústria de Bebidas de Garanhuns - Jatobá LTDA, trabalhando nos setores de Controle da qualidade e Microbiologia; Especialista (2019) em Ciências e Tecnologia dos Alimentos pelo Instituto Federal do Rio Grande do Norte; Mestre em Engenharia Química (2019) pela Universidade Federal de Campina Grande, com experiência na área Biotecnologia com ênfase em hidrólise enzimática, extração de amido e beneficiamento de resíduos agroindustriais, onde atualmente é Doutorando em Engenharia Química na Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Revisor dos Periódicos Journal of Plant Breeding and Crop Science, African Journal of Agricultural Research e Research, Society and Development.

**Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN/CCT/UAEQ/Campus Natal-RN, raphaelqindustrial@gmail.com**

**Victor Herbert de Alcântara Ribeiro:** Possui graduação em Agroecologia pela Universidade Estadual da Paraíba (2016). Mestre em Ciências Agrárias (Agroecologia) no Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias da Universidade Federal da Paraíba - Campus III, Bananeiras. Doutorando em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais com ênfase na área de Transferência de Calor e Massa vinculados a Refrigeração e Secagem de Alimentos (secagem, desidratação osmótica, liofilização, enriquecimento de alimentos e novos produtos (desenvolvimento de ração para peixes com resíduos de algaroba *Prosopis juliflora* (Sw) DC). Também trabalha com temas vinculados a biofertilizantes, substâncias organominerais e cultura do gergelim (*Sesamum indicum* L.).

**Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG/CTRN/Campus Campina Grande-PB, victor\_herbert@hotmail.com**

**Virgínia Mirtes de Alcântara Silva:** *Licenciada em Ciências Biológicas pela Universidade do Vale do Acaraú-CE em 2010, Doutora e Mestre em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Especialista em Geoambiência e Recursos Hídricos do Semiárido pela Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, Especialista em Geografia e Gestão Ambiental pela Universidade Integrada de Patos - FIP. Atuando nas áreas de Sensoriamento Remoto e SIG, Desertificação, Restauração Ecológica, Recuperação de Áreas Degradadas e Características Climatológicas do Brasil, Eventos Extremos de Chuva e Desastres Ambientais. Doutora em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais atuando na área de Crioconservação de Recursos Genéticos de Origem Vegetal, com ênfase em criocongelamento de sementes, além de Transferência de Calor e Massa vinculados a Refrigeração e Secagem de Alimentos (secagem, desidratação osmótica, liofilização, enriquecimento de alimentos e novos produtos). Integra o corpo editorial da editora EPTEC. Revisor dos Periódicos African Journal of Plant Science; African Journal of Food Science; Journal of Development and Agricultural Economics, Journal of Plant Breeding and Crop Science, African Journal of Agricultural Research. Membro Integrante da Rede Internacional de Pesquisa em Desenvolvimento Resiliente ao Clima - RIPEDRC- Rede Resiliência Climática, criada em 2019, como uma parceria internacional, aprovado pelo edital do CNPQ/Fundação Araucária: PI 06/2018 Programa Researcher (Reino Unido), que previu a organização do Workshop Brasil-Reino Unido sobre o Financiamento do Desenvolvimento Urbano Resiliente ao Clima realizado nos dias 09 a 13 de setembro de 2019.*

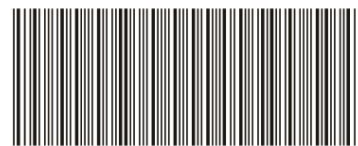
**Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG/CTRN/Campus Campina Grande-PB, virginia.mirtes2015@gmail.com**



® Portal Tecnológico  
de Divulgação Científica  
Eventos, Pesquisas e Inovação



Universidade Federal  
de Campina Grande



978-65-00-18759-5