



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



**TESE**

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

**APROVEITAMENTO DA CASCA DA MANGA ‘PALMER’ SUBMETIDA A  
DIFERENTES TÉCNICAS DE SECAGEM PARA ELABORAÇÃO DE PÃO DE FORMA**

**ANA JULIA DE BRITO ARAUJO CARVALHO**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**AGOSTO - 2021**

**ANA JULIA DE BRITO ARAUJO CARVALHO**

**APROVEITAMENTO DA CASCA DA MANGA ‘PALMER’ SUBMETIDA A  
DIFERENTES TÉCNICAS DE SECAGEM PARA ELABORAÇÃO DE PÃO DE FORMA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola.

**Orientador:** Prof. Dr. Wilton Pereira da Silva

**CAMPINA GRANDE – PB**

**AGOSTO – 2021**

C331a Carvalho, Ana Júlia de Brito Araújo.  
Aproveitamento da casca da manga ‘palmer’ submetida a diferentes técnicas de secagem para elaboração de pão de forma / Ana Júlia de Brito Araújo Carvalho. – Campina Grande, 2021.  
119 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2021.  
"Orientação: Prof. Dr. Wilton Pereira da Silva".  
Referências.

1. *Mangifera Indica* L. 2. Modelagem Matemática. 3. Alimentos Funcionais. I. Silva, Wilton Pereira da. II. Título.

CDU 634.441(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA AGRICOLA  
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

## FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

**ANA JÚLIA DE BRITO ARAÚJO**

APROVEITAMENTO DA CASCA DA MANGA  
'PALMER' SUBMETIDA A DIFERENTES  
TÉCNICAS DE SECAGEM PARA ELABORAÇÃO  
DE PÃO DE FORMA

Tese apresentada ao Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Agrícola como  
pré-requisito para obtenção do título de  
Doutora em Engenharia Agrícola.

Aprovada em: 03/09/2021

Wilton Pereira da Silva – Orientador – UAF/CCT/UFCG

Ana Paula Trindade Rocha – Examinadora Interna - UAEAL/CTRN/UFCG

Josivanda Palmeira Gomes – Examinadora Interna - UAEAL/CTRN/UFCG

Cleide Maria Diniz Pereira da Silva e Silva - Examinadora Externa - UAF/CCT/UFCG

Laerson Duarte da Silva - Examinador Externo - UAF/CCT/UFCG



Documento assinado eletronicamente por **JOSIVANDA PALMEIRA GOMES, PROFESSOR 3 GRAU**, em 09/09/2021, às 19:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANA PAULA TRINDADE ROCHA, PROFESSOR 3 GRAU**, em 09/09/2021, às 22:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **WILTON PEREIRA DA SILVA, PROFESSOR 3 GRAU**, em 10/09/2021, às 06:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **CLEIDE MARIA DINIZ PEREIRA DA SILVA E SILVA, PROFESSOR 3 GRAU**, em 10/09/2021, às 06:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **LAERSON DUARTE DA SILVA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/09/2021, às 11:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **1762173** e o código CRC **FB8A15C5**.

---

## *Dedico*

*A Deus pelas bênçãos  
concedidas, pelo dom da vida e  
por todas as maravilhas que me  
proporciona.*

*Aos meus pais (in memoriam), pelos  
ensinamentos, pelo amor e  
principalmente por serem minha  
inspiração para buscar a cada dia me  
tornar uma pessoa melhor.*

*Aos meus filhos, **Artur e Ana**  
**Beatriz**, bênçãos que Deus me  
concedeu, minha fortaleza e  
motivo para enfrentar qualquer  
desafio.*

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização deste curso.

Ao meu orientador professor Dr. Wilton Pereira da Silva, pelos ensinamentos, orientações, paciência, apoio, disponibilidade e incentivo.

A todos os professores do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola por transmitirem seus conhecimentos, pelo apoio e incentivo e, principalmente, pela base que nos forneceram para que pudéssemos nos tornar profissionais qualificados. Em especial as professoras Dra. Josivanda Palmeira Gomes, Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueiredo e Dra. Luiza Eugênia da Mota Rocha Cirne.

Aos professores que fizeram parte da banca examinadora Dra. Cleide Maria Diniz Pereira da Silva e Silva, Dra. Ana Paula Trindade Rocha e Dr. Laerson Duarte da Silva, pela disponibilidade, sugestões e contribuições.

A todos que fazem parte do Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA) e Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA), em especial Renata.

Aos colegas de curso, pela amizade, apoio e aprendizado adquirido por meio da personalidade de cada um.

Aos amigos Inácia, Sâmela, Newton, Carolina, Larissa, Amanda, Mylena, Jemima, Henrique, Bruno, Deise, Shênia pelo apoio, amizade, ensinamentos, contribuições e principalmente pelos momentos de descontração e sorrisos compartilhados.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano (IFSertãoPE) pela concessão da licença para realização do curso. Aos técnicos Joselmo, Antônio e Thiago pela colaboração e auxílio para realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Marcos dos Santos Lima pela disponibilidade, esclarecimentos, sugestões e apoio.

Aos queridos Emilly, Nailton, Debóra, Ana Beatriz pela amizade, carinho, apoio, pelas contribuições e boa vontade de sempre ajudar.

A Louranilde pela disponibilidade e fornecimento do resíduo utilizado neste trabalho.

À minha família e amigos pela compreensão e pelo apoio em todos os momentos.

A todos que contribuíram, de forma direta ou indireta, para a realização deste trabalho.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1</b> Modelos empíricos utilizados para prever a cinética de secagem das cascas da manga ‘Palmer’.....	22
<b>Tabela 3.2</b> Expressões de taxa de secagem obtidas através dos modelos empíricos.....	22
<b>Tabela 3.3</b> Ingredientes e formulações para a elaboração do pão de forma padrão (P), adicionado de pó microencapsulados da casca da manga ‘Palmer’ submetida secagem convectiva a 60 °C (MS) e por liofilização (ML).....	31
<b>Tabela 4.1</b> Caracterização físico-química da casca da manga ‘Palmer’ in natura e utilizando diferentes técnicas de secagem.....	33
<b>Tabela 4.2</b> Ajuste do modelo de Lewis aos dados experimentais da secagem da casca da manga ‘Palmer’ nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C.....	36
<b>Tabela 4.3</b> Ajuste do modelo de Henderson e Pabis aos dados experimentais da secagem da casca da manga ‘Palmer’ nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C.....	36
<b>Tabela 4.4</b> Ajuste do modelo de Wang e Singh aos dados experimentais da secagem da casca da manga ‘Palmer’ nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C.....	37
<b>Tabela 4.5</b> Ajuste do modelo de Peleg aos dados experimentais da secagem da casca da manga ‘Palmer’ nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C.....	38
<b>Tabela 4.6</b> Ajuste do modelo de Page aos dados experimentais da secagem da casca da manga ‘Palmer’ nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C.....	39
<b>Tabela 4.7</b> Ajuste do modelo de Silva et alii aos dados experimentais da secagem da casca da manga ‘Palmer’ nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C.....	39
<b>Tabela 4.8</b> Difusividade efetiva de massa, coeficiente de transferência de calor (h), número de Biot, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e qui-quadrado ( $\chi^2$ ) obtidos na descrição à secagem da casca da manga ‘Palmer’ com 1,55 mm de espessura média, nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C, usando o modelo de difusão.....	44
<b>Tabela 4.9</b> Atividade Antioxidante Total (AOX) da casca da manga ‘Palmer’ in natura e utilizando diferentes técnicas de secagem, segundo métodos de Captura do Radical Livre - DPPH, Captura do Radical Livre – ABTS, Redução do Ferro – FRAP e Conteúdo bioativo total (Fenólicos Totais - FT).....	51
<b>Tabela 4.10</b> Caracterização físico-química da casca da manga in natura e submetida à secagem por liofilização.....	53
<b>Tabela 4.11</b> Determinações físicas do pó da casca da manga ‘Palmer’ Liofilizada.....	56



<b>Tabela 4.12</b> Perfil de minerais da casca da manga ‘Palmer’ liofilizada.....	58
<b>Tabela 4.13</b> Ajuste do modelo de Peleg, para curva de crescimento, aos dados experimentais da extração assistida dos compostos fenólicos totais da casca da manga ‘Palmer’ para os solventes etanol, água, água e celulase, água e pectinase, barcia e etanol 50%.....	60
<b>Tabela 4.14</b> Atividade Antioxidante Total (AOX) do pó microencapsulado da casca da manga ‘Palmer’ submetido à secagem convectiva a 60 °C (MS) e liofilização (ML), segundo métodos de Captura do Radical Livre - DPPH, Captura do Radical Livre – ABTS, Redução do Ferro – FRAP e Conteúdo bioativo total (Fenólicos Totais - FT).....	63
<b>Tabela 4.15</b> Perfil de compostos fenólicos (g.100 g <sup>-1</sup> ) da casca da manga ‘Palmer’ in natura (IN), secagem convectiva a 60 °C (S), liofilização (L), e microencapsulação secagem convectiva a 60 °C (MS) e liofilização (ML).....	65
<b>Tabela 4.16</b> Determinação do parâmetro de firmeza e cor das três formulações do pão...	70
<b>Tabela 4.17</b> Atividade antioxidante e fenólicos totais das formulações dos pães.....	71

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> Esquema representando as principais etapas envolvidas no processo de secagem utilizando <i>spray dryer</i> .....	12
<b>Figura 3.1</b> Manga ‘Palmer’ .....	14
<b>Figura 3.2</b> (a) Descascador manual e (b) molde adaptado para corte das cascas da manga ‘Palmer’ para as dimensões 20 x 20 mm.....	15
<b>Figura 3.3</b> Representação da cor no espaço $L^* a^* b^*$ .....	16
<b>Figura 4.1</b> (a) Cascas da manga ‘Palmer’ nas dimensões 20 x 20 mm e com espessura média de 1,55 mm e (b) cascas da manga ‘Palmer’ antes e após secagem.....	35
<b>Figura 4.2</b> Cinética de secagem da casca da manga ‘Palmer’ determinadas através do modelo de Page nas temperaturas de (a) 40, (b) 50, (c) 60, (d) 70 e (e) 80 °C (f) superposição das cinco temperaturas.....	41
<b>Figura 4.3</b> Taxas de secagem da casca da manga ‘Palmer’ determinadas através do modelo de Page para temperatura de 40, 50, 60, 70 e 80 °C.....	43
<b>Figura 4.4</b> Descrição por modelo de difusão das cinéticas de secagem da casca da manga ‘Palmer’ nas temperaturas de (a) 40, (b) 50, (c) 60, (d) 70 e (e) 80 °C.....	46
<b>Figura 4.5</b> Distribuição de umidade na parede infinita para à secagem a 60 °C em fatias de espessura inicial de 1,55 mm nos instantes: (a) 15 min; (b) 25 min; (c) 50 min e (d) 70 min.....	47
<b>Figura 4.6</b> Valores médios de clorofila ‘a’, clorofila ‘b’, clorofila total e carotenoides totais da casca da manga ‘Palmer’ in natura e utilizando diferentes técnicas de secagem.....	49
<b>Figura 4.7</b> Cinéticas de extração da casca da manga ‘Palmer’ determinadas através do modelo de Peleg para os solventes (a) etanol, (b) água, (c) água e celulase, (d) água e pectinase, (e) barçia e (f) etanol 50%.....	61
<b>Figura 4.8</b> Superposição das cinéticas de extração da casca da manga ‘Palmer’ determinadas através do modelo de Peleg para os solventes etanol, água, água e celulase, água e pectinase, barçia e etanol 50%.....	62
<b>Figura 4.9</b> Formulação pão do forma padrão (P).....	69
<b>Figura 4.10</b> Formulações dos pães de forma. (A) P, (B) MS, (C) ML.....	69

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 3.1</b> Cálculo de carotenoides .....	19
<b>Equação 3.2</b> Cálculo de clorofila total .....	19
<b>Equação 3.3</b> Cálculo de razão de umidade .....	21
<b>Equação 3.4</b> Cálculo do modelo de Henderson e Pabis .....	22
<b>Equação 3.5</b> Cálculo do modelo de Lewis .....	22
<b>Equação 3.6</b> Cálculo do modelo de Peleg .....	22
<b>Equação 3.7</b> Cálculo do modelo de Page .....	22
<b>Equação 3.8</b> Cálculo do modelo de Silva et alii .....	22
<b>Equação 3.9</b> Cálculo do modelo de Wang e Singh .....	22
<b>Equação 3.10</b> Cálculo da taxa de secagem de Henderson e Pabis .....	22
<b>Equação 3.11</b> Cálculo da taxa de secagem de Lewis .....	22
<b>Equação 3.12</b> Cálculo da taxa de secagem de Peleg .....	22
<b>Equação 3.13</b> Cálculo da taxa de secagem de Page .....	22
<b>Equação 3.14</b> Cálculo da taxa de secagem de Silva et alii .....	22
<b>Equação 3.15</b> Cálculo da taxa de secagem de Wang e Singh .....	22
<b>Equação 3.16</b> Cálculo do qui-quadrado .....	23
<b>Equação 3.17</b> Cálculo da equação de difusão .....	23
<b>Equação 3.18</b> Cálculo do coeficiente de biot .....	24
<b>Equação 3.19</b> Cálculo de biot.....	24
<b>Equação 3.20</b> Cálculo de coeficiente de transferência de convectiva de massa .....	24
<b>Equação 3.21</b> Cálculo para rendimento do pó .....	26
<b>Equação 3.22</b> Cálculo para molhabilidade .....	26
<b>Equação 3.23</b> Cálculo para solubilidade .....	27
<b>Equação 3.24</b> Cálculo para higroscopicidade .....	27
<b>Equação 3.25</b> Cálculo para densidade aparente .....	28
<b>Equação 3.26</b> Cálculo para densidade compactada .....	28
<b>Equação 3.27</b> Cálculo para índice de compressibilidade .....	29
<b>Equação 3.28</b> Cálculo para fator de hausner.....	29
<b>Equação 4.1</b> Equação de difusão dependente da posição x.....	44
<b>Equação 4.2</b> Equação da interpretação da 4.1. ....	45
<b>Equação 4.3</b> Equação para parede infinita.....	47

<b>Equação 4.4</b> Equação da substituição da 3.19.....	48
<b>Equação 4.5</b> Equação da substituição da 3.17.....	48
<b>Equação 4.6</b> Equação da interpretação da equação de Lewis.....	48
<b>Equação 4.7</b> Equação empírica obtida pelo modelo de Peleg.....	60

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

$A_w$	Atividade de água
$A_n$	Coefficientes da solução analítica para o teor de água dependente da posição $x$ no tempo $t$
$B_n$	Coefficientes da solução analítica para o teor médio de umidade no tempo $t$
$a, b$	Parâmetros do modelo empírico
$Bi$	Transferência de massa Número de Biot (sem dimensões)
$D$	Difusividade de massa efetiva ( $m^2 s^{-1}$ )
$h$	Coefficiente de transferência de massa convectiva ( $m s^{-1}$ )
$L$	Espessura da placa infinita (m)
$n$	Índice de somatórios
$nt$	Números de termos da série
$R^2$	Coefficiente de determinação (sem dimensão)
$x$	Posição em coordenadas cartesianas (m)
$t$	Tempo de secagem (s)
$T$	Temperatura ( $^{\circ}C$ )
$X(x,t)$	Teor de água local ( $Kg_{\text{água}} Kg^{-1}_{\text{matéria seca}}$ , base seca, db)
$X(t)$	Teor médio de água ( $Kg_{\text{água}} Kg^{-1}_{\text{matéria seca}}$ , base seca, db)
$X_{eq}$	Teor de água de equilíbrio ( $Kg_{\text{água}} Kg^{-1}_{\text{matéria seca}}$ , base seca, db)
$X_0$	Teor de umidade inicial ( $Kg_{\text{água}} Kg^{-1}_{\text{matéria seca}}$ , base seca, db)
$X^*$	Coefficiente de umidade sem dimensão ou razão de umidade (sem dimensão)
$\chi^2$	Qui-quadrado
$\mu_n$	Raízes da equação característica para placa infinita

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 Objetivos.....	3
1.1.1 Objetivo geral.....	3
1.1.2 Objetivos específicos.....	3
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	4
2.1 Manga ‘Palmer’ .....	4
2.2 Resíduos agroindustriais.....	5
2.3 Compostos bioativos .....	7
2.4 Técnicas de secagem .....	9
2.4.1 Secagem convectiva .....	9
2.4.2 Liofilização.....	10
2.4.3 Secagem por atomização ( <i>spray dryer</i> ).....	11
2.7 Cinética de secagem e modelos matemáticos.....	12
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	14
3.1 Local de desenvolvimento do experimento .....	14
3.2 Matéria-prima .....	14
3.3 Seleção e higienização.....	14
3.4 Preparo das amostras .....	15
3.5 Caracterização físico-química, compostos bioativos e atividade antioxidante das cascas da manga ‘Palmer’ in natura.....	15
3.5.1 Teor de água .....	16
3.5.2 Atividade de água.....	16
3.5.3 Cinzas .....	16
3.5.4 Cor.....	16
3.5.5 Teor de sólidos solúveis – SS.....	17
3.5.6 Acidez total titulável - ATT .....	17
3.5.7 Ratio (relação SS/ATT).....	17
3.5.8 Potencial hidrogeniônico (pH) .....	17
3.5.9 Vitamina C .....	17
3.5.10 Extração assistida .....	17
3.5.11 Conteúdo bioativo total (Fenólicos Totais - FT).....	18

3.5.12 Perfil de compostos fenólicos por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE).....	18
3.5.13 Clorofilas totais e carotenoides .....	19
3.5.14 Atividade antioxidante .....	19
3.6 Técnicas de secagem .....	20
3.6.1 Secagem convectiva das cascas da manga ‘Palmer’ .....	20
3.6.2 Secagem por liofilização.....	25
3.6.3 Secagem por atomização ( <i>spray dryer</i> ).....	24
3.7 Caracterização físico-química, compostos bioativos e atividade antioxidante das cascas da manga ‘Palmer’ submetidas as diferentes técnicas de secagem .....	25
3.8 Rendimento do pó da casca da manga ‘Palmer’ .....	26
3.9 Análises físicas do pó da casca da manga ‘Palmer’ .....	26
3.9.1 Molhabilidade.....	26
3.9.2 Solubilidade.....	27
3.9.3 Higroscopicidade.....	27
3.9.4 Densidade aparente .....	28
3.9.5 Densidade compactada.....	28
3.9.6 Índice de compressibilidade .....	29
3.9.7 Fator de hausner .....	29
3.10 Citotoxicidade.....	30
3.11 Aplicação dos pós microencapsulados da casca da manga ‘Palmer’ na elaboração de pães de forma.....	30
3.12 Elaboração do pão de forma - Formulações .....	30
3.13 Fluxograma de processamento .....	31
3.14 Análise de Textura.....	32
3.15 Análise estatística dos dados .....	32
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>33</b>
4.1 Parâmetros físico-químicos da casca da manga ‘Palmer’ in natura e utilizando diferentes técnicas de secagem. ....	33
4.2 Curvas de secagem e modelagem matemática .....	35
4.2.1 Modelos empíricos .....	35
4.2.2 Cinética de secagem.....	40
4.2.3 Taxas de secagem.....	42
4.2.3 Modelo de difusão.....	43

4.3 Clorofila e carotenoides.....	49
4.4 Atividade antioxidante e conteúdo bioativo total (Fenólicos Totais - FT).....	50
4.6 Caracterização físico-química da casca da manga in natura e do pó liofilizado. ....	53
4.7 Caracterização física do pó da casca da manga ‘Palmer’ liofilizada.....	55
4.8 Caracterização de minerais do pó da casca da manga ‘Palmer’ liofilizada.....	58
4.9 Citotoxicidade.....	59
4.10 Extração assistida .....	60
4.10.1 Cinética de extração .....	61
4.11 Compostos bioativos e atividade antioxidante pó microencapsulado da casca da manga ‘Palmer’ submetido à secagem convectiva a 60 °C (MS) e liofilização (ML).....	63
4.12 Perfil de compostos fenólicos por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE).....	64
4.12.1 Flavanóis .....	66
4.12.2 Flavonóis e estilbenos (resveratrol).....	66
4.12.3 Ácidos fenólicos.....	67
4.12.4 Flavanonas.....	67
4.12.5 Antocianinas.....	67
4.13 Avaliação dos parâmetros de cor e textura das formulações dos pães.....	68
4.14 Atividade antioxidante e fenólicos totais das formulações dos pães.....	71
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>73</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>75</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>100</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>106</b>
<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>108</b>
<b>APÊNDICE D .....</b>	<b>110</b>
<b>APÊNDICE E .....</b>	<b>112</b>
<b>APÊNDICE F .....</b>	<b>114</b>
<b>APÊNDICE G.....</b>	<b>116</b>
<b>APÊNDICE H.....</b>	<b>118</b>



## RESUMO

O presente estudo avaliou os efeitos da secagem na casca da manga ‘Palmer’ sobre as características físicas, físico-químicas, compostos bioativos, atividade antioxidante e perfil de compostos fenólicos gerando informações para um melhor aproveitamento desse subproduto e sua utilização em produtos alimentícios. As cascas foram cortadas utilizando um molde adaptado para as dimensões 20 x 20 mm com espessura média da própria casca (aproximadamente 1,55 mm), submetidas a diferentes técnicas de secagem: estufa com circulação de ar em cinco temperaturas (40, 50, 60, 70 e 80 °C) e secagem por liofilização. Para descrever as secagens foram usados alguns modelos matemáticos, tanto de difusão (condição de contorno do terceiro tipo) quanto empíricos (Henderson e Pabis, Lewis, Page, Silva et alii, Wang e Singh). As secagens foram conduzidas até atingir o equilíbrio em relação à perda de água. Após as secagens em estufa e por liofilização, as cascas da manga foram submetidas ao processo de trituração, sendo trituradas e homogeneizadas obtendo-se o pó, realizando a padronização de granulometria em peneira de 600 mesh à temperatura ambiente, aproximadamente 24 °C. Os pós foram caracterizados quanto aos atributos físicos, físico-químicos, compostos bioativos e atividade antioxidante. De acordo com os resultados, verificou-se que o modelo de difusão indicou que as cascas da manga ‘Palmer’ apresentaram uma distribuição de umidade quase uniforme ao longo do tempo. A equação de Page apresentou os melhores indicadores estatísticos, ajustando-se melhor que os outros modelos aos dados experimentais. O modelo de Wang e Singh não apresentou comportamento físico coerente ao estudo realizado, chegando a atravessar o campo da quantidade de água para região negativa, antes de atingir o ponto de equilíbrio do processo de secagem. Após a caracterização dos pós submetidos à secagem convectiva e por liofilização, foi observado que à secagem convectiva a 60 °C e por liofilização foram as que apresentaram melhores resultados, principalmente em relação aos compostos bioativos e atividade antioxidante, sendo escolhida para realização do processo de microencapsulamento e posterior adição a formulações de pão de forma. Os pães de forma foram elaborados utilizando três formulações, sendo elas: padrão (P), adicionado do pó microencapsulado da casca da manga ‘Palmer’ por secagem convectiva a 60 °C (MS) e liofilização (ML). Os resultados foram positivos em relação aos parâmetro de cor, textura, compostos bioativos totais, atividade antioxidante e perfil de compostos fenólicos, destacando-se a formulação MS, sendo possível verificar a eficiência da adição dos pós microencapsulados no enriquecimento dos pães de forma em relação a sua composição de compostos bioativos

e atividade antioxidante, promovendo a obtenção de um pão de forma com propriedades funcionais.

**Palavras-chave:** *Mangifera indica* L., modelagem matemática, alimentos funcionais.

## ABSTRACT

This study aims to evaluate the effects of drying the peel of 'Palmer' mango on its physical, physicochemical, bioactive compounds, antioxidant activity and profile of phenolic compounds, generating information for a better use of this by-product and its use in food products. The shells were cut using a mold adapted to dimensions 20 x 20 mm with average thickness of the shell itself (approximately 1.55 mm), subjected to different drying techniques: oven with air circulation at five temperatures (40, 50, 60, 70 and 80°C) and drying by lyophilization. To describe the dryings, some mathematical models were used, both diffusion (third-type boundary condition) and empirical (Henderson and Pabis, Lewis, Page, Silva et alii, Wang and Singh). The dryings were carried out until reaching equilibrium in relation to water loss. After drying in an oven and by lyophilization, the mango peels were submitted to the crushing process, being crushed and homogenized, obtaining the powder, performing the standardization of granulometry in a 600 mesh sieve at room temperature, approximately 24 °C. The powders were characterized for physical, physicochemical, bioactive compounds and antioxidant activity. According to the results, it appears that the diffusion model indicated that the peels of the 'Palmer' mango have an almost uniform moisture distribution over time. The Page equation presented the best statistical indicators, fitting better than the other models to the experimental data. Wang and Singh's model does not present a physical behavior consistent with the study carried out, even crossing the field of water quantity to the negative region, before reaching the equilibrium point of the drying process. After characterization of the powders subjected to convective drying and freeze drying, it was observed that convective drying at 60 °C and freeze drying were the ones that showed the best results, especially in relation to bioactive compounds and antioxidant activity, being chosen to carry out the process of microencapsulation and subsequent addition to loaf bread formulations. The loaf breads were prepared using three formulations, namely: standard (P), added with microencapsulated powder of mango peel 'Palmer' by convective drying at 60 °C (MS) and lyophilization (ML), the results were positive in relation to the parameters of color, texture, total bioactive compounds, antioxidant activity and profile of phenolic compounds, highlighting the MS formulation, being possible to verify the efficiency of the addition of microencapsulated powders in the enrichment of breads in relation to their compound composition bioactives and antioxidant activity, promoting the achievement of a loaf of bread with functional properties.

**Keywords:** *Mangifera indica* L., mathematical modeling, functional foods.

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento contínuo da produção mundial de frutas, bem como a diversidade de variedades de frutas cultivadas possibilita a utilização das mesmas pela indústria alimentícia. Ocupando a terceira colocação no ranking da produção mundial de frutas, o Brasil é responsável por 4,6% do volume colhido, com uma produção de 39,9 milhões de toneladas (SEAB/DERAL, 2020).

A região Nordeste do Brasil destaca-se como produtora e exportadora de frutas, apesar das restrições hídricas e de solo do semiárido, a fruticultura também tem grande importância econômica e social em diversas áreas. No Vale do Submédio São Francisco, destaca-se a produção de mangas voltadas para o mercado externo, apresentando crescimento aproximado em torno de 5% no primeiro semestre de 2020, em relação a igual período de 2019 (ABRAFRUTAS, 2020).

A manga (*Mangifera indica* L.) apresenta destaque entre as frutas tropicais por sua contribuição significativa para a exportação de frutas frescas brasileiras (AGRIANUAL, 2019), vem ganhando a preferência do consumidor pelo seu sabor e aroma atraentes, com grande expressividade no comércio agrícola internacional. A área cultivada com mangueiras no Brasil era de 76.661 hectares, produzindo mais de 605.956 mil toneladas, sendo as regiões Nordeste e Sudeste responsáveis por 66,5 % e 28,4 % da produção total, respectivamente. Em 2019, as exportações de manga atingiram recorde, até novembro foram exportadas 197 mil toneladas, sendo os principais destinos União Europeia e Estados Unidos (ABHF, 2019).

Dentre as variedades de manga, destaca-se a cultivar 'Palmer' por ser uma variedade que vem ganhando interesse nos últimos anos por suas propriedades sensoriais, como melhor sabor e aroma devido ao maior teor de sólidos solúveis, assim como um menor teor de fibras (CAMARA, 2017). Além disso, suas propriedades nutricionais, como alto teor de antioxidantes como ácido ascórbico, flavonoides e polifenóis são características que a diferencia das outras variedades (MODESTO et al., 2016).

Mesmo diante de tais características e do seu crescimento no mercado, a manga 'Palmer' ainda é uma variedade pouco conhecida em termos de estudos e trabalhos desenvolvidos. Existem poucos relatos na literatura sobre análises sensoriais em manga 'Palmer' in natura, cuja demanda e potencial de mercado tem evoluído positivamente nos últimos anos. O maior percentual das pesquisas foi realizado para manga processada, cujos relatos fazem referência à produção de polpas e produtos derivados, em razão da

manga ser uma fruta sazonal e muito abundante, sendo nos períodos de entressafra uma alternativa aos consumidores e indústrias de alimentos.

O aumento das atividades agroindustriais tem influenciado a geração de grande quantidade de resíduos em áreas agrícolas, industriais e urbanas (FAO, 2013; PEDRASSOLLI et al., 2015; SILVA, 2015). As indústrias de alimentos e principalmente as processadoras de suco acabam rejeitando uma grande quantidade de substratos, como bagaço, cascas de frutas e sementes, que são negligenciados no meio ambiente (NASCIMENTO FILHO; FRANCO, 2015).

A redução do volume de resíduos descartados na natureza, bem como o aproveitamento integral dos alimentos é uma alternativa para solucionar o impacto ambiental gerado por esses resíduos produzidos pela indústria de alimentos, pois possibilita a utilização de todas as partes que seriam descartadas, mas que possuem valor nutricional significativo (SILVA; SOUZA 2017). A casca da manga é rica em cálcio, sódio, fósforo, potássio, ferro, magnésio e manganês, mais fibras, proteínas, carboidratos, vitamina C e pectina (MARQUES et al., 2010; FRANÇA, 2014).

A produção de farinha através do processo secagem torna-se uma alternativa ao uso de resíduos industriais, pois trata-se de um importante ingrediente, rico em fibras, compostos bioativos, minerais, vitaminas e antioxidantes, e tem vários efeitos positivos na saúde (MARQUES, 2013; BRIZOLA; BAMPI, 2014). A elaboração de farinha permite o desenvolvimento de novos produtos, que podem alterar os atributos sensoriais, principalmente o sabor, e aumentar os nutrientes que são cada vez mais necessários no mercado por seus inúmeros benefícios à saúde (MACAGNAN et al., 2014).

Apesar da importância econômica que o setor agroindustrial apresenta, a falta de destino adequado e aproveitamento dos resíduos sólidos geram problemas ao meio ambiente. Diante do exposto, o presente estudo pretende avaliar os efeitos da secagem da casca da manga ‘Palmer’, caracterizar e estudar o potencial funcional associado a compostos bioativos e atividade antioxidante, gerando informações para um melhor aproveitamento desse subproduto e sua utilização em produtos alimentícios.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo geral

Secar a casca da manga ‘Palmer’, caracterizar o perfil químico de compostos bioativos e atividade antioxidante e utilizar este subproduto como ingrediente para alimentos funcionais.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar a caracterização físico-química, compostos bioativos e atividade antioxidante da casca da manga ‘Palmer’ in natura;
- Estudar a cinética de secagem da casca da manga ‘Palmer’ em estufa com circulação de ar (40, 50, 60, 70 e 80 °C);
- Identificar a correta condição de contorno do modelo de difusão usado para descrever o processo;
- Realizar a secagem por liofilização das cascas da manga ‘Palmer’;
- Determinar a cinética de extração do conteúdo bioativo total;
- Avaliar a qualidade da casca da manga ‘Palmer’ submetidas à secagem convectiva e por liofilização e atomização, através de atributos físico-químicos, compostos bioativos e atividade antioxidante;
- Microencapsular a casca da manga ‘Palmer’ submetida à secagem convectiva e por liofilização;
- Caracterizar os compostos bioativos, atividade antioxidante e perfil de compostos fenólicos dos pós submetidos à secagem convectiva 60 °C, liofilização e microencapsulados;
- Elaborar formulação de pão de forma utilizando a casca da manga ‘Palmer’ os pós microencapsulados obtidos pelos métodos de secagem convectiva e por liofilização;
- Caracterizar as formulações do pão de forma quanto aos atributos cor, textura, compostos bioativos e atividade antioxidante;
- Determinar a melhor formulação para elaboração do pão de forma utilizando o pó da casca da manga ‘Palmer’.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Manga ‘Palmer’

A manga (*Mangifera indica* L.) é uma fruta climatérica de grande importância econômica, muito apreciada por suas características sensoriais: excelente sabor, fragrância, coloração e propriedades nutricionais, podendo ser consumida in natura ou processada na forma de néctares, sucos, purês, doces entre outros. É produzida em regiões tropicais e subtropicais, e apresenta grande importância econômica no cenário mundial. A Índia ocupa, com expressiva margem de diferença, o primeiro lugar na produção mundial e uma produção quase quatro vezes maior que a China, segunda colocada no ranking de acordo com a FAO - Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO, 2017).

A manga é uma das principais frutas tropicais produzidas no Brasil. O país é atualmente o sétimo produtor mundial de manga (FAO, 2018) com 57 mil hectares, concentrados basicamente em duas regiões: Nordeste (73%) e Sudeste (27%) (LIMA et al., 2018).

A manga é uma das mais importantes frutas tropicais, sendo muito apreciada por seu excelente sabor, aroma, coloração assim como por suas características nutricionais. A composição química da manga varia de acordo com as condições climáticas, o solo, o estágio de maturação e principalmente a variedade. Dentre as variedades cultivadas as que mais se destacam devido as suas características é a Tommy Atkins’, ‘Palmer’, ‘Kent’ e ‘Keitt’ (TEIXEIRA; DURIGAN, 2011).

A variedade ‘Palmer’ é uma cultivar que apresenta maior teor de sólidos solúveis e menor quantidade de fibras, em comparação à ‘Tommy Atkins’, características que vão ao encontro do desejo do consumidor (CARVALHO et al., 2004).

A manga Palmer é semianã, originada na Florida em 1945. Os frutos possuem casca roxa quando “de vez” e vermelha quando maduros. A polpa é amarela, firme, bom sabor (21,6 ° Brix), com pouca ou nenhuma fibra. Apresenta boa vida de prateleira sendo bem aceita no mercado interno (COSTA e SANTOS, 2004; COSTA, 2017). O cultivo da variedade Palmer vem consolidando-se a cada ano, por ser uma variedade de crescimento tardio com boa capacidade de conservação e por apresentar boas perspectivas para a exportação (TEIXEIRA; DURIGAN, 2011).



Os dados de evolução do volume de comercialização mostraram um crescimento, entre 2007 e 2016, de 66,86 % da variedade ‘Palmer’ e de 0,85 % da variedade ‘Tommy Atkins’. A evolução da comercialização das mangas Tommy Atkins e Palmer demonstra uma ascensão da ‘Palmer’, cujos picos de comercialização ocorreram em 2011 e 2014 (SIEM, 2017). Um dos motivos do crescimento da comercialização da variedade ‘Palmer’ é sua melhor aceitação, maior teor de sólidos solúveis, e menor teor de fibras, comparada à ‘Tommy Atkins’ (ALMEIDA, 2009). A ‘Palmer’ também apresenta resultados competitivos em relação a outros cultivares quanto ao comportamento pós-colheita (SILLER-CEPEDA et al., 2009).

A modificação na demanda por determinada variedade é relativamente rápida, e sua dinâmica é muito influenciada por grupos étnicos ou pela pressão de empresas produtoras, processadoras e exportadoras de frutos de acordo com seus interesses (PINTO et al., 2011).

## 2.2 Resíduos agroindustriais

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2019), o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas com cerca de 45 milhões de toneladas ao ano, das quais 65% são consumidas internamente e 35% são destinadas ao mercado externo.

Segundo os dados da ABF (2018), a produção brasileira de frutas foi de 43,5 milhões de toneladas em 2017, abaixo das 44,8 milhões de toneladas do ano anterior, segundo a Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados (ABRAFRUTAS), o aumento estimado para 2018 foi de 5 %, beneficiado pelo clima favorável, portanto, o volume total de frutas poderá chegar a 45,6 milhões de toneladas.

As agroindústrias têm investido cada vez mais na capacidade de processamento, gerando quantidades enormes de subprodutos, sendo parte reaproveitada como ração animal. Todavia, em muitos casos, os subprodutos são considerados custo operacional para as empresas, sendo descartado e atuando como fonte de contaminação ambiental. Esse desperdício tem como resultado perdas irrecuperáveis na economia, diminuindo a disponibilidade de recursos e fonte de renda para a população (NASCIMENTO FILHO; FRANCO, 2015).

O aproveitamento de resíduos agroindustriais se mostra frente ao desperdício de alimentos, e ao beneficiamento e processamento desses, uma grande oportunidade de

desenvolvimento de subprodutos, como também agregação de valor perdido, e utilização sustentável desses resíduos (COSTA, 2017).

Durante o processamento da manga, a casca é o maior subproduto. Como a casca não é comumente utilizada em âmbito comercial, ela é descartada como resíduo e se torna uma fonte de poluição (AJILA et al., 2007). Sendo os subprodutos do processamento da manga resíduos orgânicos, estes geram grande problema ambiental porque contém grande quantidade de nitrogênio, fósforo e água que tornam o resíduo suscetível à modificação pelos microrganismos, como a formação de chorume e emissão de gases (DORTA et al., 2011). A casca da manga é rica em cálcio, sódio, potássio, ferro, magnésio e manganês, além de possuir mais fibras, vitamina C, proteínas, carboidratos e pectina (FRANÇA, 2014).

A emissão de gases, a partir da decomposição de resíduos orgânicos, contribui para a geração do efeito estufa, o que vem sendo amplamente discutido como um dos principais problemas do século XXI. A casca e o caroço de manga são rejeitos do processamento da fruta, representando de 35 a 60 % em massa de manga, valores que possuem diferença de acordo com o processamento e tipo da fruta. A proporção da casca em relação ao fruto corresponde de 20 a 30 % em massa (LARRAURI et al., 1996).

Conforme Ajila et al. (2007), a casca da manga vem sendo estudada, pois possui vários compostos benéficos para a saúde, tais como: polifenóis, carotenoides e fibras alimentares. Segundo Angelo e Jorge (2007), os compostos fenólicos se originam do metabolismo secundário das plantas, são essenciais para o seu crescimento e reprodução e se formam em condições de estresse, como infecções, ferimentos, radiações ultravioletas (UV), dentre outros.

Algumas técnicas, como a secagem tem sido utilizada para o beneficiamento da casca da manga, no entanto, a temperatura do ar de secagem e o tempo de processo afetam a atividade e a estabilidade de compostos bioativos, assim como a degradação química e enzimática, além de perdas por volatilização e/ou decomposição térmica.

Os alimentos de origem vegetal apresentam quantidades significativas de compostos antioxidantes (vitamina E, vitamina C,  $\beta$ -caroteno entre outros), que agem como varredores de radicais, tornando tais alimentos essenciais para a saúde humana (HOSSAIN; RAHMAN, 2011).

### 2.3 Compostos bioativos

De acordo com Silva et al. (2012), os principais antioxidantes nos vegetais são as vitaminas C e E, os carotenoides e os compostos fenólicos, especialmente os flavonoides. A quantidade e o perfil destes fotoquímicos variam em função do tipo, cultivar e grau de maturação do vegetal bem como das condições edafoclimáticas do cultivo (FREIRE, 2012).

Os antioxidantes são compostos químicos que podem prevenir ou diminuir os danos oxidativos de lipídios, proteínas e ácidos nucleicos causados por espécies de oxigênio reativo, que incluem os radicais livres, ou seja, os antioxidantes possuem a capacidade de reagir com os radicais livres e assim restringir os efeitos maléficos ao organismo (COUTO e CANNIATTI-BRAZACA, 2010).

Segundo Huber et al. (2012), o uso de antioxidantes naturais pode acrescentar os efeitos benéficos dos bioativos aos alimentos nos quais são adicionados, resguardando o consumidor da toxicidade dos antioxidantes sintéticos. Dentre os antioxidantes encontrados nos alimentos destaca-se os compostos fenólicos, que podem influenciar o valor nutricional e a qualidade sensorial, conferindo atributos como cor, textura, amargor e adstringência.

Os flavonoides são pigmentos que além de atribuir cor aos alimentos podem colaborar também com outros atributos sensoriais como sabor e odor. São substâncias responsáveis pela coloração azul, tons de vermelho e roxo e, estão envolvidos com o desenvolvimento de pigmentos indesejáveis de coloração marrom em frutas frescas que ocorre devido à oxidação enzimática dos fenóis em quinonas que polimerizam após cortes ou injúrias nos alimentos (NUNES et al., 2012).

Estes compostos compreendem um grupo de compostos fenólicos amplamente distribuídos nas frutas e nos vegetais. São substâncias de baixo peso molecular produzido por quase todas as plantas vasculares, estando presente diariamente na dieta humana, sendo encontrados abundantemente em vegetais, frutas vermelhas como amoras e morangos, citros, chocolate, nozes, bebidas derivadas das uvas, chá verde e preto e outros alimentos. Eles também estão presentes em plantas medicinais aromáticas pertencentes à família das *Lamiaceae* (ESTRADA-REYES et al., 2012).

Carotenoides e clorofilas estão entre os pigmentos orgânicos mais abundantes presentes em inúmeras frutas e legumes. Os carotenoides são pigmentos naturais largamente distribuídos na natureza, sendo encontrados principalmente em frutas e

verduras. Estes compostos tem propriedades que resultam em funções biológicas benéficas ao organismo. Além da capacidade corante, apresentam características funcionais que formam a base de diversas funções, sendo que o principal mecanismo de atuação benéfica é o da ação antioxidante. São precursores de vitamina A, além de outras ações benéficas como proteção contra certos tipos de câncer, doenças cardiovasculares, cataratas, degeneração macular (RIOS et al., 2009).

Carvalho et al. (2011) relataram que os carotenoides são considerados substâncias antioxidantes e seus estudos, nos últimos anos, tem revelado um grande interesse, principalmente devido aos efeitos danosos das espécies reativas nos sistemas biológicos. Em sistemas biológicos, as espécies redoxi-ativas são formadas naturalmente ou devido a alguma alteração fisiológica. Elas estão envolvidas em muitos processos fisiológicos importantes, tais como produção de energia, fagocitose, regulação do crescimento celular, sinalização celular e síntese de substâncias.

De acordo com Hiatt et al. (2010), a vitamina C é um componente sensível que apresenta alta instabilidade, e, por isso, é frequentemente usada como indicador global da qualidade nutricional dos alimentos durante o processamento e armazenamento. É utilizada na indústria farmacêutica e alimentar como um antioxidante para manter a saúde e prolongar a vida de prateleira de produtos alimentícios. Por ser uma molécula sensível, quando exposta ao oxigênio, metais, umidade, luz, pH, e temperatura ocorre a sua degradação. A identificação e compreensão dos produtos de degradação de vitamina C e os mecanismos pelos quais os produtos são formados é uma informação importante para determinar as condições de armazenamento e processamento ótimo para os alimentos que contém a vitamina C (JUHÁSZ et al., 2011).

Huber et al. (2012) pesquisaram sobre a caracterização química do resíduo agroindustrial da manga ubá (*Mangifera indica* L.) para a obtenção de antioxidantes naturais. Os autores concluíram que o resíduo agroindustrial da casca da manga tem um expressivo potencial de utilização como fonte alternativa de compostos fenólicos e atividade antioxidante. Melo e Araújo (2011) quantificaram o teor de ácido ascórbico, carotenoides e fenólicos totais e avaliaram o potencial antioxidante de mangas das variedades Espada, Rosa e Tommy Atkins. Os resíduos das três variedades de manga apresentaram teores consideráveis de fenólicos totais.

## 2.4 Técnicas de secagem

Dentre os processos conhecidos para a conservação de alimentos por desidratação, tem-se: a liofilização, à secagem por exposição ao sol, à secagem em forno de micro-ondas e secagem convectiva natural ou forçada; sendo esta última o processo que reúne as melhores características para à secagem de alimentos, por ter tempo de operação relativamente baixo em relação a alguns dos outros processos, gasto de energia intermediário e, dependendo da velocidade e temperatura do ar de secagem, minimização de degradação de compostos bioativos no alimento seco (CASSINI et al., 2006).

Para a conservação de alimentos, os processos de secagem provaram ser eficientes e práticos, favorecendo a qualidade do produto (DANTAS et al., 2018). À secagem por convecção com ar quente é uma das técnicas de secagem mais comuns, sendo considerada menos dispendiosa quando comparada com alguns outros métodos de desidratação, como liofilização ou secagem a vácuo. Uma das mais importantes variáveis do processo durante à secagem convectiva é a temperatura do ar. Esta variável está diretamente relacionada à transferência de massa e calor (TELES et al., 2018).

As condições de secagem afetam muitas das propriedades dos produtos agrícolas e dessa forma, os estudos de modelagem da secagem do produto são necessários para compreender os aspectos de transferência de calor e massa, visando minimizar possíveis perdas na qualidade (DEHGHANNYA et al. 2016; KAYA et al., 2008; DEMIRAY e TULEK, 2017).

### 2.4.1 Secagem convectiva

À secagem convectiva, com o uso de ar quente, ainda é o mais popular método aplicado para remover água de frutas e verduras, prolongando seu tempo de prateleira (DEHGHANNYA et al., 2016). A remoção de água líquida durante o processo de secagem deve garantir que não ocorram reações bioquímicas indesejadas (BABU et al., 2018).

Apesar das diversas vantagens existentes no processo de secagem convectiva, o contato do produto com o ar aquecido por um longo período de tempo, provoca alterações na estrutura celular, nas propriedades físicas e químicas do alimento, acarretando geralmente a perda de compostos termossensíveis, como vitaminas e compostos bioativos, além de provocar mudanças na qualidade do produto final. Novas tecnologias

associadas à conservação dos alimentos foram desenvolvidas nos últimos anos nas quais podemos destacar pré-tratamentos, técnicas e equipamentos, garantindo a sua qualidade e minimizando os danos gerados durante o seu processamento (CORRÊA et al., 2016; FONTELES et al., 2016).

Dorta *et al.* (2011) afirmaram que a secagem da casca da manga reduz a atividade enzimática podendo degradar os compostos fenólicos e reduzir a taxa de crescimento microbiano. Diversos fatores influenciam na secagem, como fatores externos e da natureza do produto processado. Dentre os fatores externos, destacam-se a pressão do sistema, a temperatura, a velocidade e a umidade relativa do ar de secagem. Quanto aos fatores da natureza do produto, a área superficial, orientação dos constituintes, estrutura celular e o tipo e concentrações dos solutos.

#### 2.4.2 Liofilização

A liofilização 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 (VIVAS et al., 2019).

A tecnologia de secagem por liofilização ou *freeze drying* envolve dois métodos no processo de conservação de produtos. Este processo envolve uma etapa preliminar de congelamento na qual deve ser controlada a taxa e o tempo de resfriamento para a obtenção de um produto congelado uniforme em termos de cristais de gelo, criando o sucesso posterior da etapa de sublimação da água. A liofilização, propriamente dita, é a etapa de eliminação da água pela sublimação do gelo em temperatura e pressão inferiores ao ponto triplo da água. As características originais dos produtos alimentícios são preservadas (tamanho, textura, vitaminas, sais minerais, sabor, aroma etc.), sendo reconstituída pela simples adição de água, voltando a ser o produto original *in natura* (FRANÇA et al., 2012).

Alimentos liofilizados são produtos com alto valor agregado por reter grande parte de seus nutrientes originais. Entretanto, seu custo é expressivamente maior quando comparado aos produtos secos por outras técnicas, necessitando-se, assim, de pesquisas que minimizem os custos operacionais, ofertando, dessa maneira, produtos a um preço

competitivo. Além disso, a qualidade final do produto, considerando-se os aspectos nutritivos e sensoriais, também deve ser investigada para garantir alimentos seguros e nutritivos aos consumidores. Dentre os índices de qualidade, podem-se citar o teor de retenção de vitamina C, a capacidade de reidratação e a textura (VIEIRA et al., 2012).

#### 2.4.3 Secagem por atomização (*spray dryer*)

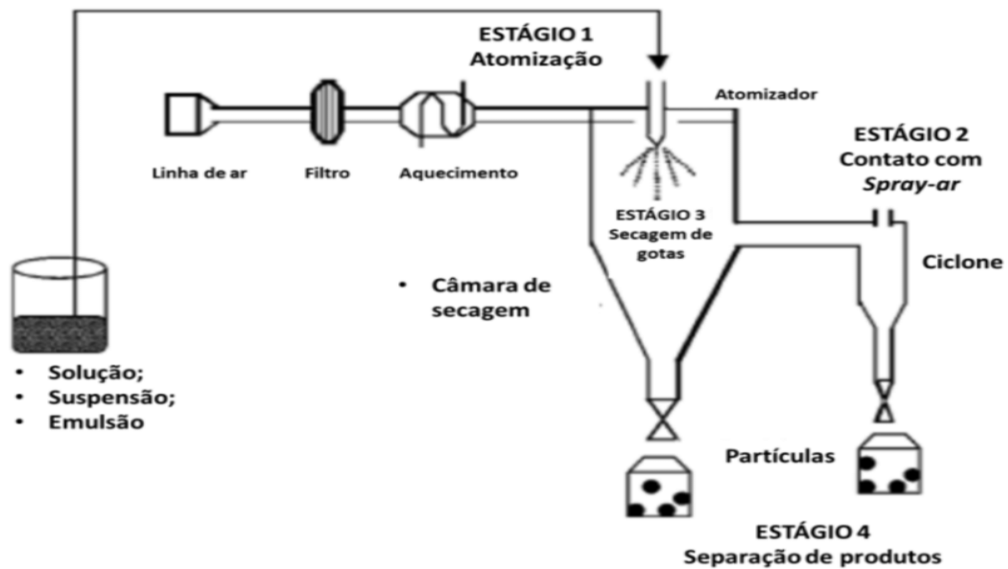
À secagem por atomização (*spray dryer*) é umas das técnicas mais utilizadas dentre as técnicas de proteção de extratos ricos em compostos fenólicos, por meio da técnica de encapsulação, proporcionando estabilidade ao material bioativo e com baixo custo de processo (FANG e BHANDARI, 2010; NASSARO et al., 2012).

A microencapsulação é uma técnica de grande aceitação na área de alimentos, cuja utilização visa aumentar a efetividade de muitos compostos, por promover uma barreira física entre o componente do núcleo e os outros componentes do produto (ESTEVINHO et al., 2013; ZHANG et al., 2015).

Após a extração do conteúdo fenólico existe a necessidade da proteção destes compostos. Alguns fatores que ocasionam sua degradação são: luz, oxigênio, enzimas oxidativas e temperatura. Os principais encapsulantes aplicados em compostos fenólicos são amido modificado, maltodextrina e goma arábica, ou misturas entre elas, sendo reportada na literatura que esses materiais apresentam alta capacidade protetora sobre o conteúdo fenólico de extratos (BURIN et al., 2011).

A aplicação da técnica do *spray dryer* para a microencapsulação envolve quatro etapas: preparo, homogeneização e aspensão de uma solução, seguida da desidratação da solução atomizada (secagem) (DESAI e PARK, 2005). A Figura 2.1 representa o esquema geral de funcionamento do *spray dryer*.

Figura 2.1 Esquema representando as principais etapas envolvidas no processo de secagem utilizando *Spray Dryer*.



Fonte: Ré (2006).

## 2.7 Cinética de secagem e modelos matemáticos

Muitas equações descrevem o comportamento do processo de secagem através de sua cinética. As equações da cinética de secagem que estão presentes na literatura são não lineares, o que leva a necessidade de iterações numéricas para estimação de parâmetros. A cinética possibilita também a determinação do mecanismo predominante na transferência de massa do material para o fluido e as respectivas equações matemáticas correspondentes. Com as informações contidas nas curvas de secagem pode-se estimar o tempo de secagem de certa quantidade de produto, além do gasto energético, que refletirá no custo de processamento e, por sua vez, influenciará no preço final do produto (VILELA e ARTHUR, 2008).

O emprego de modelos matemáticos é de fundamental importância para representar o processo de secagem, devido as informações geradas serem de grande valor para o desenvolvimento de equipamentos e previsão dos tempos de secagem (SILVA et al., 2009). A aplicação dos modelos matemáticos confiáveis permite prever o correto comportamento dos diversos fenômenos que ocorrem durante o processo de secagem, o que implica na redução do custo operacional (DIONELLO et al., 2009).

Dentre os modelos disponíveis para a descrição de um processo de secagem, podem ser destacados os difusivos (NGUYEN ; PRICE, 2007; SILVA et al., 2013;



SILVA et al., 2015), cuja vantagem, além da descrição da cinética do processo, é prever a distribuição de umidade em qualquer instante; e os empíricos (DIAMANTE et al., 2010; KALETA; GÓRNICKI, 2010; SILVA et al., 2013; SILVA et al., 2014) que apenas descrevem a cinética do processo.

A descrição do processo de secagem de frutos foi empregada por vários autores, sejam eles teóricos, empíricos e/ou semiempíricos, sendo os modelos de Page (1949) e de Henderson e Pabis (1961) os modelos empíricos bastante utilizados para a representação da secagem de produtos agrícolas. O estudo da cinética de secagem, bem como o ajuste de diferentes modelos matemáticos aos valores experimentais em função do teor de água e a determinação do coeficiente de difusão e a energia de ativação do produto são fundamentais para descrição do processo de secagem.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local de desenvolvimento do experimento

A pesquisa foi conduzida nos Laboratórios de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA) e no Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA), ambos pertencentes à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), localizados na Cidade de Campina Grande, no estado da Paraíba, Brasil. No Laboratório Experimental de Alimentos (LEA) pertencente ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano (IF Sertão-PE), Campus Petrolina, localizado na cidade de Petrolina, no estado de Pernambuco, Brasil.

#### 3.2 Matéria-prima

As mangas da variedade ‘Palmer’ foram adquiridas no comércio da cidade de Campina Grande, estado da Paraíba, Brasil, no estágio de maturação 4 (maturação comercial), simulando a matéria-prima utilizada pela indústria de processamento de polpas. Após a aquisição, os frutos foram acondicionados em sacolas plásticas tradicionais e em seguida levados para o Laboratório de Engenharia de Alimentos.

**Figura 3.1** Manga ‘Palmer’



**Fonte:** Autor (2021).

#### 3.3 Seleção e higienização

No laboratório, os frutos foram selecionados quanto à ausência de defeitos, descartando-se os frutos defeituosos, sendo em seguida, realizada a lavagem e sanitização dos frutos selecionados, a lavagem em solução contendo detergente neutro a 1%, após

realizou-se o enxágue em água corrente, posteriormente foram sanitizados em solução clorada, utilizando hipoclorito de sódio em solução de hipoclorito de sódio a 150 ppm durante 15 min para a sanitização, a solução sanitizante foi removida por meio de enxague em água corrente.

### 3.4 Preparo das amostras

Após a seleção e higienização, as mangas foram descascadas com o auxílio de um descascador manual e as cascas foram cortadas utilizando um molde adaptado, confeccionado para realização do corte das cascas nas dimensões 20 x 20 mm (Figura 3.2 b), com espessura média da própria casca (aproximadamente 1,55 mm). Em seguida, as cascas foram armazenadas em embalagens plásticas (seladas à vácuo), congeladas utilizando nitrogênio líquido e, posteriormente, mantidas em freezer (-20 °C), onde foram mantidas congeladas e posteriormente analisadas.

**Figura 3.2** – (a) Descascador manual e (b) molde adaptado para corte das cascas da manga ‘Palmer’ para as dimensões 20 x 20 mm.



**Fonte:** Autor (2021).

### 3.5 Caracterização físico-química, compostos bioativos e atividade antioxidante das cascas da manga ‘Palmer’ in natura

A caracterização físico-química das cascas da manga in natura foi realizada com intuito de obter dados comparativos para avaliação da perda de suas características físico-químicas e de compostos bioativos após serem submetidos aos tratamentos térmicos a serem descritos no item 3.6. As cascas foram analisadas de acordo com suas características físico-químicas quanto aos parâmetros: teor de umidade, atividade de água ( $A_w$ ) e cor e quanto aos parâmetros bioativos: compostos fenólicos, clorofilas totais,

carotenoides totais e atividade antioxidante. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

### 3.5.1 Teor de água

O teor de água foi determinado pelo método gravimétrico, que envolve à secagem das amostras em estufa a 105 °C por 24 h, segundo metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

### 3.5.2 Atividade de água

A atividade de água da casca da manga foi determinada utilizando-se o equipamento Aqualab CX-2T, Decagon a 25 °C.

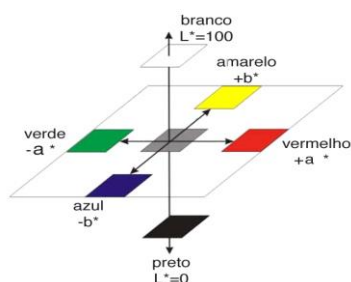
### 3.5.3 Cinzas

A quantidade de cinzas foi determinada através da incineração da amostra em mufla aquecida a 550 °C até a obtenção de um resíduo isento de carvão, com coloração branca acinzentada, segundo metodologia descrita pelo IAL (2008).

### 3.5.4 Cor

A cor foi determinada por leitura direta utilizando-se o espectrofotômetro MiniScan HunterLab XE Plus, modelo 4500 L, com sistema de cor Cielab. O instrumento, equipado com iluminante D65/10° calibrado com placa preta e placa branca padrão ( $x = 80,5$ ,  $y = 85,3$ ,  $z = 90,0$ ), conforme instruções do fabricante. As coordenadas determinadas foram:  $L^*$  que representa a luminosidade, transição do preto (0) para o branco (100);  $a^*$  que representa a transição da cor verde ( $-a^*$ ) para vermelha ( $+a^*$ ); e  $b^*$  a transição da cor azul ( $-b^*$ ) para amarela ( $+b^*$ ), conforme apresentado na Figura 3.3.

**Figura 3.3.** Representação da cor no espaço  $L^* a^* b^*$ .



### 3.5.5 Teor de sólidos solúveis – SS

O teor de sólidos solúveis foi determinado a partir da leitura do índice de refração no refratômetro ABBE de bancada (modelo Q767B), segundo a recomendação proposta pela AOAC (2005).

### 3.5.6 Acidez total titulável - ATT

A Acidez total titulável foi determinada pelo método titulométrico, utilizando-se uma alíquota de 1,0 g da amostra, à qual foram adicionados 49,0 mL de água destilada e 3 gotas de fenolftaleína alcoólica a 1%, usando-se solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 N, padronizada com biftalato de potássio, como titulante (IAL, 2008).

### 3.5.7 Ratio (relação SS/ATT)

O parâmetro Ratio foi determinado por meio da razão entre os valores obtidos de sólidos solúveis totais e acidez total titulável.

### 3.5.8 Potencial hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico foi determinado em pHmetro marca TecnoPON (Modelo mPA – 210P/Versão 7.1), com inserção direta do eletrodo na amostra, de acordo com IAL (2008).

### 3.5.9 Vitamina C

O teor de ácido ascórbico foi determinado pelo método Tillmans (titulométrico), descrita na metodologia do IAL (2008), através da titulação com 2,6-diclorofenolindofenol (DFI), até obtenção de coloração rósea claro permanente, utilizando-se 1,0 g da amostra diluída em 50,0 mL de ácido oxálico a 1,0%, o resultado foi expresso em mg de ácido ascórbico/100 mg de amostra.

### 3.5.10 Extração assistida

Para caracterização dos compostos fenólicos totais, foram realizadas em banho de ultrassom com contato indireto (Ultrasonic Q5. 9/40 A – com frequência de 40 kHz, potência de 132 W), utilizou-se diferentes técnicas de extração usando solvente orgânico potável etanol, água, água adicionando celulase e água adicionando pectinases e etanol 50 % a 50 °C e utilizando uma mistura de metanol: água: ácido acético (50:

48,5: 1,5, v / v / v), sendo esta mistura obtida empregando a metodologia descrita por Barcia et al. (2014). Para o procedimento de extração assistida foram preparados extratos na proporção de 10 g do pó da casca da manga ‘Palmer’ para 100 mL de solvente (etanol, água, água adicionando celulase e água adicionando pectinases e etanol 50%, mistura de metanol: água : ácido acético (Barcia)), sendo retirada alíquotas de 1 mL a cada 15 min durante 180 min.

#### 3.5.11 Conteúdo bioativo total (fenólicos totais - FT)

O conteúdo bioativo total foi determinado pelo método espectrofotométrico com Folin-Ciocalteu (Singleton; Rossi, 1965). Foi adicionado em um tubo de ensaio, 100 µL do extrato do resíduo, 7,90 mL de água destilada e 0,50 mL do reagente Folin-Ciocalteu. Após 3 a 8 min foi acrescentado 1,50 mL de uma solução saturada de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 20%, permanecendo em repouso por 2 h. Em seguida, foi lida a absorbância a 765 nm em cubeta de vidro de 10 mm de percurso óptico utilizando espectrofotômetro UV-Visível modelo UV 2000A (Instrutherm, Brasil) zerado com o branco dos reagentes. Os resultados foram expressos em mg.Kg<sup>-1</sup>, equivalentes ao ácido gálico, por comparação com uma curva de calibração.

#### 3.5.12 Perfil de compostos fenólicos por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE)

Os compostos fenólicos da casca da manga ‘Palmer’ foram extraídos por extração líquido-líquido (LLE), seguindo a metodologia descrita por Burin et al. (2014). A identificação e quantificação dos compostos foram feitas por comparação com padrões externos (DUTRA et al., 2018; PADILHA et al., 2017). Foram utilizados como padrões externos, padrões de ácido fenólicos: gálico, cafeico, siríngico, cumárico, clorogênico e *trans*-caftárico flavonóis: catequina, epicatequina galato, epigallocatequina galato, procianidina B1 e procianidina B2; kaempferol, rutina e quercitina; antocianinas: malvidina, delphinidina, cianidina, petunidina, peonidina e pelargonidina; estilbenos: *trans* e *cis* resveratrol; flavanonas: naringenina e hesperidina. Esses compostos foram determinados nas amostras dos extratos da casca da manga ‘Palmer’, em cromatógrafo líquido de alta eficiência (CLAE) utilizando um sistema HPLC Agilent modelo 1260 Infinity LC (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) equipado com bomba quaternária de solventes (modelo G1311C), degaseificador, compartimento de colunas

termostatizado (modelo G1316A) e amostrador automático (modelo G1329B). Acoplado em Detector de Arranjos de Diodos (DAD) (modelo G1315D). Os dados obtidos foram processados utilizando o software OpenLAB CDS ChemStation Edition™ (Agilent Technologies). O procedimento analítico foi realizado conforme a metodologia de determinação rápida validada por Padilha et al. (2017).

### 3.5.13 Clorofilas totais e carotenoides

Os teores de clorofilas totais e carotenoides foram determinados de acordo com Lichtenthaler (1987) e calculados pelas Equações 3.1 e 3.2, dadas a seguir. Cerca de 0,5 g de amostra foi macerada em almofariz com 0,2 g de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) e 10 mL de acetona (80%) gelada em ambiente escuro. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 10 °C e 3.000 rpm por 10 min e os sobrenadantes foram lidos em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 470, 646 e 663 nm.

$$\text{Carotenoides} = [(1000\text{Abs. } 470 - 1,82\text{Ca} - 85,02\text{Cb}) / 198] \times 100 / 1000 \quad (3.1)$$

$$\text{Clorofila total} = [(17,3\text{Abs. } 646 + 7,18\text{Abs. } 663) / \text{massa (g)}] \times 100 / 1000 \quad (3.2)$$

onde:

$$\text{Ca} = [(12,21\text{Abs. } 663 - 2,81\text{Abs. } 646) / \text{massa (g)}] \times 100 / 1000$$

$$\text{Cb} = [(20,13\text{Abs. } 646 - 5,03\text{Abs. } 663) / \text{massa (g)}] \times 100 / 1000$$

Abs. = absorvância

### 3.5.14 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante *in vitro* da casca da manga foi determinada utilizando os métodos de captura de radicais livres ABTS e DPPH, de acordo com Re et al. (1999) e Kim et al. (2002), respectivamente. O padrão analítico Trolox foi utilizado para a construção da curva analítica e os resultados foram expressos como equivalentes de Trolox por litro de extrato (mmol TEAC L<sup>-1</sup>). Para realização dos métodos, as amostras foram diluídas com água deionizada na proporção de 1:10. As leituras da absorvância foram realizadas em espectrofotômetro UV-Visível modelo UV 2000A (Instrutherm, Brasil).

A atividade do radical DPPH (2,2-difenil-2-picrilhidrazil) foi medida através da extinção do máximo da absorção em 517 nm. O método consisti na mistura de 100 µL da amostra (extrato da casca da manga 'Palmer' com 2,90 mL de solução etanólica do radical DPPH 1,0 mM e incubação no escuro durante 30 min. A solução de DPPH foi diluída com etanol para uma absorbância entre 0,900 e 1,000 a 517 nm. As leituras de absorbância foram realizadas nos tempos 0 (sem adição de amostra) e 30 min (com adição de amostra).

No método ABTS, a atividade antioxidante dos sucos foi determinada através da taxa de decaimento da absorbância a 754 nm do radical ABTS. O radical catiônico (ABTS) foi produzido através da reação de 5 mL de radical ABTS 7 mM com 5 mL de persulfato de potássio 2,45 mM. A mistura foi mantida no escuro em temperatura ambiente (20 °C) durante 16 horas previamente às análises. No processo, a solução ABTS foi diluída com etanol 80 % para ajuste da absorbância inicial entre  $0,700 \pm 0,050$  a 754 nm. Em 3,5 mL da solução radical ABTS foram adicionados 0,5 mL da amostra do extrato e lida em espectrofotômetro no tempo  $t = 0$  min, e após 6 min de reação ( $t = 6$  min).

Este procedimento foi realizado segundo Rufino et al., (2006), com algumas adaptações para medição na matriz casca da manga 'Palmer'. O reagente FRAP foi preparado por meio da mistura de 25 mL da solução de tampão acetato (300 mM; pH 3,6), 2,5 mL da solução TPTZ (10 mM TPTZ em 40 mM HCl) e 2,5 mL de FeCl<sub>3</sub> (20 mM) em solução aquosa. Foi adicionado uma alíquota de 90 µL do suco previamente diluído a 2,7 mL do reagente FRAP e incubado a 37°C em banho-maria por 30 min. A absorbância foi medida em 595 nm no espectrofotômetro, zerado com a solução FRAP. Os resultados obtidos foram comparados com uma curva padrão de sulfato ferroso nas concentrações 100 – 2000 µmol L<sup>-1</sup>, e expressos em mmol de Fe<sup>2+</sup> por litro da amostra.

### 3.6 Técnicas de secagem

#### 3.6.1 Secagem convectiva das cascas da manga 'Palmer'

As cascas de manga obtidas e cortadas conforme descrito no item 3.4 foram submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar ajustada para operar nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C. As temperaturas de secagem foram escolhidas com base nas faixas usualmente utilizadas para produtos agrícolas. Os experimentos foram realizados em triplicata, e o teor de água determinado pelo método gravimétrico, sendo as pesagens das fatias realizadas em balança analítica, até atingirem o teor de água



de equilíbrio.

Antes de iniciar cada processo de secagem, foram retiradas amostras de cascas da manga 'Palmer' para determinação do teor de água inicial, utilizando-se o método padrão de estufa, a 105 °C por 24 h, para a obtenção da massa seca. O valor do teor de água inicial foi determinado pela média aritmética de 15 determinações distintas. Para a descrição da cinética de secagem, os teores de umidade, em base seca, foram determinados em intervalos de tempo regulares, até o equilíbrio.

### 3.6.1.1 Obtenção das curvas de secagem

As curvas de secagem foram obtidas pela conversão dos dados referentes à perda de água no parâmetro adimensional - razão de teor de água ( $X^*$ ), para as diferentes condições de secagens, mediante a seguinte Equação (3.3):

$$X^* = \frac{X_{bs} - X_e}{X_{bs\ inicial} - X_e} \quad (3.3)$$

onde:

$X^*$  - Razão de teor de água (adimensional);

$X_e$  - Teor de água de equilíbrio, em base seca;

$X_{bs}$  - Teor de água, em base seca;

$X_{bs\ inicial}$  - Teor de água inicial, em base seca.

### 3.6.1.2 Modelos matemáticos para secagem

Os valores experimentais para a razão de umidade ao longo do tempo e para cada temperatura do ar de secagem foram preditos por modelos empíricos e difusivos, com condição de contorno do terceiro tipo, pois o ajuste satisfatório desta condição indica que a condição de contorno do primeiro tipo também se adequa ao processo.

### 3.6.1.3. Modelos empíricos

Foram selecionadas cinco funções empíricas  $f(t,a,b)$  com, no máximo, dois parâmetros de ajuste, conforme pode ser observado na Tabela 3.1, bem como os modelos para taxa de secagem na tabela 3.2. O ajuste das equações empíricas aos dados

experimentais foi realizado por meio do programa computacional LAB Fit Curve Fitting Software (SILVA e SILVA, 2009).

**Tabela 3.1.** Modelos empíricos utilizados para prever a cinética de secagem das cascas da manga ‘Palmer’.

Modelos	Expressões empíricas	Modelo	
Henderson e Pabis	$a \cdot \exp(-b \cdot t)$	Diamante et al. (2010)	(3.4)
Lewis	$\exp(-a \cdot t)$	Kaleta e Górnicki (2010)	(3.5)
Peleg	$1 - t/(a + bt)$	Peleg (1988)	(3.6)
Page	$\exp(-a \cdot t^b)$	Diamante et al. (2010)	(3.7)
Silva et alii	$\exp(-a \cdot t - b\sqrt{t})$	Silva et al. (2013)	(3.8)
Wang e Singh	$1 + a \cdot t + b \cdot t^2$	Kaleta e Górnicki (2010)	(3.9)

**Nota:** t - Tempo de secagem (min); b – Constante de secagem; a - Coeficiente dos modelos.

**Fonte:** Autor (2021).

**Tabela 3.2.** Expressões de taxa de secagem obtidas através dos modelos empíricos

Modelos	Taxas de secagem	
Henderson e Pabis	$dX^*/dt = -abe^{-bt}$	(3.10)
Lewis	$dX^*/dt = -ae^{-at}$	(3.11)
Peleg	$dX^*/dt = a(a + bt)^2$	(3.12)
Page	$dX^*/dt = -abt^{b-1} e^{-at^b}$	(3.13)
Silva et alii	$dX^*/dt = -(a + bt^{-1/2}/2)e^{-at-b\sqrt{t}}$	(3.14)
Wang e Singh	$dX^*/dt = a + 2bt$	(3.15)

**Fonte:** Autor (2021).

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais foram o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e a função qui-quadrado ( $\chi^2$ ), calculado pela Equação 3.16:

$$\chi^2 = \sqrt[2]{\sum (X_{\text{exp}}^* - X_{\text{pre}}^*)^2}$$

(3.16)

onde:

$\chi^2$  - Qui-quadrado;

$X_{pre}^*$  - Razão de umidade predita pelo modelo;

$X_{exp}^*$  - Razão de umidade experimental.

#### 3.6.1.4. Modelo de difusão

No modelo a ser proposto para a definição do modelo de difusão, foram admitidas algumas suposições preliminares, baseado nos estudos de Moreira (2018b):

- I. a distribuição inicial de umidade no interior do produto é uniforme;
- II. a difusão é o principal mecanismo de transporte de massa no interior de produto, e o encolhimento pode ser descartado;
- III. as cascas são consideradas homogêneas e isotrópicas;
- IV. o coeficiente de transferência convectiva e a difusividade efetiva de massa não variam durante a secagem;
- V. à secagem é considerada sob condições isotérmicas.

Em adição, como o comprimento e a largura das cascas cortadas são bem maiores do que a espessura, a geometria considerada para o produto foi a de uma parede infinita. Assim, para a condição de contorno do terceiro tipo, a solução analítica da equação de difusão é dada pela série mostrada na Equação 3.17 (LUIKOV, 1968), em que se utilizou apenas os primeiros “ $n_i$ ” termos da série infinita:

$$X^*(t) = \sum_{n=1}^{n_i} B_n \exp\left(-\mu_n^2 \frac{D}{(L/2)^2} t\right), \quad (3.17)$$

onde:

$L$  - espessura da parede infinita;

$D$  - difusividade efetiva de massa;

$t$  - tempo de secagem.

$n_t$  – número de termos.

Os coeficientes  $B_n$  são dados por:

$$B_n = \frac{2Bi^2}{\mu_n^2(Bi^2 + Bi + \mu_n^2)}, \quad (3.18)$$

em que:

$Bi$  é o número de Biot para a transferência de massa, dado por

$$Bi = \frac{h(L/2)}{D}, \quad (3.19)$$

em que o parâmetro  $h$  é o coeficiente de transferência convectiva de massa. Já  $\mu_n$  são as raízes da seguinte equação transcendental:

$$\cot \mu = \frac{\mu}{Bi}, \quad (3.20)$$

denominada equação característica para a parede infinita. Observa-se que o emprego da condição de contorno terceiro tipo para descrever a secagem tem o propósito de se calcular o número de Biot de massa relativo à secagem, sem a necessidade prévia de estipulá-lo. Assim, é possível verificar se o mais adequado é a consideração de um pequeno número de Biot.

O ajuste da Equação 3.17 aos dados experimentais foi realizado através da metodologia de otimização proposta por Silva et al. (2010), usando o software Convective Adsorption – Desorption.

### 3.6.2 Secagem por liofilização

As cascas de manga ‘Palmer’, conforme descrito no item 3.4, foram congeladas em freezer (-20 °C) por 48 h, sendo posteriormente liofilizados em temperatura de -56 °C por 48 h, utilizando o liofilizador de bancada da marca Christ, modelo ALPHA 1-2 LD plus. Após este período o sistema de vácuo foi desligado e retirados os balões para coleta

das amostras. As amostras foram trituradas em processador doméstico (marca Britânia®), armazenadas em embalagens laminadas e seladas para posteriores análises físico-químicas, compostos bioativos e capacidade antioxidante.

### 3.6.3 Secagem por atomização (*spray dryer*)

Após as secagens em estufa e por liofilização, as cascas da manga foram submetidas ao processo de trituração, sendo trituradas e homogeneizadas com auxílio de um processador doméstico para obtenção do produto pulverizado (pó da casca da manga), sendo fixado o tempo de 5 min de trituração. Para obtenção de pós com partículas padronizadas, o produto triturado foi peneirado em peneira de 600 mesh à temperatura ambiente.

O processo de microencapsulamento do conteúdo fenólico das cascas da manga ‘Palmer’ foi feito por maceração com etanol 50 % para os pós da casca da manga ‘Palmer’ obtidos por secagem convectiva a 60 °C e por liofilização. Aos extratos obtidos da maceração foram adicionados o encapsulante Capsul® (amido modificado) com concentração do agente encapsulante de 10 %. As secagens por atomização para obtenção dos pós microencapsulados foram realizadas nas seguintes condições: temperatura do ar de secagem de 140 °C, e o fluxo do ar em 25 m/s, sendo fixados: vazão volumétrica média de 200 mL/h (20% da capacidade do equipamento), bico de pulverização de 1,0 mm e fluxo do ar de secagem de 35 L/min. O equipamento utilizado foi um secador tipo “*Spray Dryer*” modelo MSDi 1.0 fabricado pela Labmaq (Brasil). Os pós obtidos foram caracterizados previamente quanto ao perfil de compostos fenólicos, conteúdo fenólico total e atividade antioxidante, posteriormente foi adicionado como ingrediente na formulação dos pães de forma.

### 3.7 Caracterização físico-química, compostos bioativos e atividade antioxidante das cascas da manga ‘Palmer’ submetidas as diferentes técnicas de secagem

As cascas da manga ‘Palmer’ cortadas, conforme descrito no item 3.4, submetidas aos processos de secagem convectiva e liofilização, foram avaliadas quanto aos parâmetros físico-químicos e de compostos bioativos descritos no item 3.5, com o intuito de avaliar a melhor técnica de secagem em relação a perdas de suas características qualitativas.

### 3.8 Rendimento do pó da casca da manga ‘Palmer’

Após trituração, o pó da casca da manga ‘Palmer’ foi pesado para posterior cálculo de rendimento. Esta operação foi realizada em balança semianalítica, da marca TECNAL, modelo BG 1000 com precisão de duas casas decimais. O rendimento foi calculado visando obter a eficiência do processo aplicado, de acordo com a Equação (3.21):

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{Mf(g)}{Mi(g)} * 100 \quad (3.21)$$

onde:

$Mf$  - massa do produto em pó (g);

$Mi$  - massa inicial da polpa (g).

### 3.10 Análises físicas do pó da casca da manga ‘Palmer’

O pó da casca da manga ‘Palmer’ foi analisado de acordo com os parâmetros molhabilidade, solubilidade, higroscopicidade, densidade aparente, densidade compactada, índice de compressibilidade e Fator de Hausner.

#### 3.9.1 Molhabilidade

Foi determinado segundo o método de molhabilidade estático proposto por Ceballos et al. (2012). Esse método consiste em colocar suavemente 1 g de amostra sobre 100 mL de água destilada a 25 °C e determinar visualmente o tempo necessário para que todas as partículas se molhem, registrando o tempo com o auxílio de um cronômetro. A molhabilidade foi calculada de acordo com a Equação (3.22):

$$M = \frac{\eta}{t} \quad (3.22)$$

onde:

$M$  - molhabilidade;

$\eta$  - massa da amostra, g;

$t$  - tempo, s.

### 3.9.2 Solubilidade

Foi determinada pelo método de Eastman e Moore (1984) e modificado por Canochauca et al. (2005), que consiste na adição de 0,5 g de amostra em um recipiente contendo 50 mL de água destilada, sob agitação magnética de 1000 rpm por 5 min, seguida por centrifugação a 2600 rpm por 5 min. Uma alíquota de 12,5 mL do sobrenadante foi transferida para uma placa de Petri previamente pesada e submetida à secagem em estufa a 105 °C por 24 h. A solubilidade foi calculada de acordo com a Equação (3.23):

$$S = \frac{[(M_s) * 4]}{M_a} * 100 \quad (3.23)$$

onde:

$S$  - solubilidade;

$M_s$  - massa dos sólidos dissolvidos no sobrenadante, g;

$M_a$  - massa da amostra, g.

### 3.9.3 Higroscopicidade

Foi determinada de acordo com o método proposto por Goula e Adamopoulos (2010). Aproximadamente 1 g da amostra foram pesadas em cápsulas de vidro e colocadas em um recipiente hermético contendo uma solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75,29%) a 25 °C por 7 dias, com posterior pesagem do pó, e calculada por meio da Equação (3.24):

$$H = \frac{X}{U * a} * 100 \quad (3.24)$$

onde:

$H$  - higroscopicidade (%);

$X$  - massa de água absorvida, g;

$U$  - teor de água do pó em base seca, g.g<sup>-1</sup>;

$a$  - massa da amostra, g.

### 3.9.4 Densidade aparente

Foi determinada através da pesagem de 6 g de cascas da manga desidratadas em pó em proveta graduada de 10 mL, sem compactação, para determinação do volume total ocupado pelo sólido, de acordo com o método utilizado por Souza et al. (2010). A densidade aparente foi calculada de acordo com a Equação (3.25):

$$\rho_a = \frac{m_s}{V_t} \quad (3.25)$$

onde:

$\rho_a$  - densidade aparente;

$m_s$  - massa do sólido, g;

$V_t$  - volume total, mL.

### 3.9.5 Densidade compactada

Para a determinação da densidade compactada, foi realizada a pesagem das amostras até completar uma proveta graduada de 10 mL. A densidade compactada foi determinada a partir da massa de pó contida na proveta depois de batida manualmente 50 vezes sobre a superfície de bancada a uma altura de 10 cm (TONON et al., 2013) e, calculada conforme a Equação 3.26:

$$\rho_c = \frac{m_s}{V_c} \quad (3.26)$$

onde:

$\rho_c$  - densidade compactada;

$m_s$  - massa do sólido, g;

$V_c$  - volume do sólido após compactação, mL.



### 3.9.6 Índice de compressibilidade

O índice de compressibilidade é um método simples para avaliar indiretamente as propriedades de fluxo de pós através da comparação da densidade aparente ( $\rho_a$ ) e da densidade compactada ( $\rho_c$ ) do pó, podendo ser calculado de acordo com a Equação 3.27:

$$IC = \frac{\rho_c - \rho_a}{\rho_c} * 100 \quad (3.27)$$

onde:

$IC$  - índice de compressibilidade;

$\rho_c$  - densidade compactada;

$\rho_a$  - densidade aparente.

### 3.9.7 Fator de Hausner

O fator de Hausner é usado para avaliar indiretamente as propriedades de fluxo de pós. A partir da densidade aparente ( $\rho_a$ ) e da densidade compactada ( $\rho_c$ ) determina-se o fator de Hausner, de acordo com a metodologia de Hausner (1967), este fator está correlacionado com a fluidez de um pó ou material granulado, sendo calculado conforme a Equação 3.28.

$$FH = \frac{\rho_c}{\rho_a} \quad (3.28)$$

onde:

$FH$  - fator de Hausner;

$\rho_c$  - densidade compactada;

$\rho_a$  - densidade aparente.

### 3.10 Citotoxicidade

A citotoxicidade foi determinada baseada no método descrito por Meyer et al. (1982), utilizando *Artemia salina*. Inicialmente, foram adicionados em recipientes de vidro de 500 mL soluções salinas em várias concentrações (12,5; 25; 50; 150; 250 e 500

$\mu\text{g/mL}$ ), sendo o mesmo acondicionado próximo de uma incubadora iluminada por uma lâmpada fluorescente e adicionado 0,2 g de cistos de *Artemia salina*, mantendo a água em agitação constante, com o auxílio de uma bomba de aquário para a aeração.

Após o período de incubação os náuplios de *Artemia* foram expostos ao pó da casca da manga ‘Palmer’, sendo utilizados tubos de ensaio, cada um contendo 10 náuplios de *Artemia salina*. Após 24 h de exposição foi feita a contagem dos náuplios vivos e mortos, sendo considerados vivos todos aqueles que apresentavam qualquer tipo de movimento, quando observados próximos a uma fonte luminosa.

Os resultados foram submetidos ao tratamento estatístico utilizando-se o programa estatístico BioStat 2009<sup>®</sup>, efetuando-se a análise PROBIT, que fornecerá os valores de DL50.

### 3.11 Aplicação dos pós microencapsulados da casca da manga ‘Palmer’ na elaboração de pães de forma

Os pós obtidos do processo de microencapsulamento da casca da manga ‘Palmer’ submetida à secagem convectiva a 60 °C e por liofilização foram utilizados para elaborar um pão de forma. As formulações dos pães de forma com substituição parcial de 2% (P1), 4% (P2), 6% (P3), 8% (P4) e 10% (P5) do pó da casca da manga ‘Palmer, partindo-se de uma formulação padrão do pão de forma (EL DASH; GERMANI, 1994), apresentada na Tabela 3.3. Foram realizadas análises microbiológicas e a determinação de sua composição centesimal (umidade, cinzas, proteínas, lipídeos, carboidratos, valor energético total).

### 3.12 Elaboração do pão de forma - Formulações

Foram desenvolvidas três formulações dos pães de forma, sendo um padrão (P) e duas com substituição parcial de 10 % dos pós microencapsulados da casca da manga ‘Palmer’ submetida à secagem convectiva a 60 °C (MS) e por liofilização (ML), elaboradas partindo-se de uma formulação de pão de forma adaptada (EL DASH; GERMANI, 1994). A Tabela 3.3 descreve os ingredientes bem como suas devidas proporções em cada formulação (Tabela 3.3).

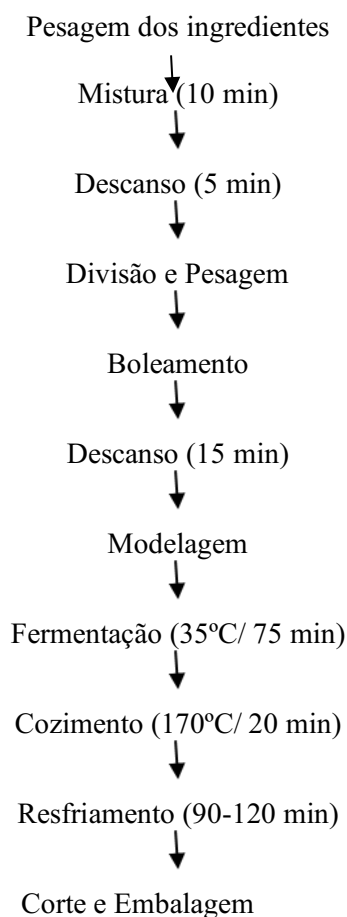
**Tabela 3.3.** Ingredientes e formulações para a elaboração do pão de forma padrão (P), adicionado de pó microencapsulados da casca da manga ‘Palmer’ submetida secagem convectiva a 60°C (MS) e por liofilização (ML).

Ingrediente	Formulações		
	P	MS	ML
Farinha de trigo (g)	100	90	90
Sal (g)	2	2	2
Açúcar refinado (g)	8	8	8
Fermento biológico (g)	4	4	4
Água (g)	80	80	80
Óleo vegetal (g)	35	35	35
ML (g)	-	-	10
MS (g)	-	10	-

**Fonte:** Adaptado de El-Dash; Germani (1994).

### 3.13 Fluxograma de processamento

As formulações dos pães de forma com substituição parcial do pó da casca da manga ‘Palmer’ foram elaboradas de acordo com o fluxograma descrito a seguir:



**Fonte:** Autor (2021).

### 3.14 Análise de textura

Para análise da textura, foi utilizado o texturômetro TA. XT (Stable Micro Systems, UK) com o probe (SMS P/36R) acoplado ao equipamento, modo compressão.

### 3.15 Análise estatística dos dados

Os resultados obtidos foram analisados em triplicata por meio do delineamento inteiramente casualizado, sendo submetidos à análise de variância (ANOVA), teste de comparação de médias de Tukey ao nível de 5% de significância, com o auxílio do programa SPSS version 20.0 for Windows (IBM, USA).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Parâmetros físico-químicos da casca da manga ‘Palmer’ in natura e utilizando diferentes técnicas de secagem.

Os resultados obtidos para caracterização físico-química da casca da manga ‘Palmer’ in natura, liofilizada e submetidas à secagem convectiva nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C estão descritos na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1.** Caracterização físico-química da casca da manga ‘Palmer’ in natura e utilizando diferentes técnicas de secagem.

Características avaliadas					
Amostras	Teor de água (b.u %)	a <sub>w</sub>	Luminosidade (L*)	Intensidade de verde (-a*)	Intensidade de amarelo (+b*)
In natura	73,19±0,20 a	0,99±0,00 a	30,67±0,76 d	13,73±2,42 a	13,35±2,41 c
Liofilizada	6,98±1,40 e	0,26±0,01 e	59,87±0,76 a	0,67±0,70 d	28,53±0,93 a
40 °C	23,84±1,51 b	0,51±0,02 b	48,07±0,84 b	5,21±0,34 bc	24,14±0,37 b
50 °C	17,12±0,25 c	0,47±0,03 bc	44,73±0,53 c	4,69±0,31 c	22,60±0,56 b
60 °C	13,43±1,35 d	0,46±0,03 bc	45,43±1,80 bc	5,24±0,27 bc	20,94±1,36 b
70 °C	11,90±0,49 d	0,43±0,02 d	44,92±1,80 bc	7,80±0,44 b	22,02±0,97 b
80 °C	10,98±1,09 d	0,39±0,01 d	44,09±1,10 c	6,48±0,05 bc	23,03±1,55 b

Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O teor de água da casca da manga ‘Palmer’ in natura correspondeu a  $73,19 \pm 0,20$ , indicando a sua alta perecibilidade. A utilização das técnicas de secagem promoveu uma redução significativa no conteúdo de água total, não havendo diferença significativa em relação as temperaturas de 60, 70 e 80 °C. O teor de umidade da casca da manga submetida à secagem por liofilização apresentou menor valor ( $6,98 \pm 1,40$ ), proporcionando a obtenção de um produto com maior estabilidade, tendo em vista que o teor de umidade é um parâmetro que está diretamente relacionado com a preservação e qualidade do alimento (BORGES et al., 2008).

Os resultados obtidos para atividade de água demonstraram que houve diferença significativa entre as técnicas de secagem aplicadas neste trabalho, sendo as cascas de

manga ‘Palmer’ liofilizadas com valor médio de  $0,26 \pm 0,01$ , foram as que apresentaram menor atividade de água. A disponibilidade de água nos alimentos dá condições para o crescimento microbiano, e a ocorrência de reações químicas e enzimáticas (SILVA; SOUZA, 2017).

Uma das propriedades de grande importância para o processamento de alimentos, conservação e armazenamento é a atividade de água. Para assegurar o maior tempo de conservação e garantir qualidade é preciso ter conhecimento da atividade de água do produto. Alguns produtos são considerados e classificados de acordo com seu teor de umidade, sendo intermediária aqueles que apresentam atividade de água entre 0,6 e 0,85 e produtos com baixa umidade aqueles que apresentam valores de atividade de água até 0,6 (OLIVEIRA, 2012), corroborando com os resultados mostrados para o caso das cascas liofilizada e seca as diferentes temperaturas.

Sendo assim, pode-se classificar a casca da manga ‘Palmer’ in natura como de alta umidade, pois apresenta atividade de água de  $0,99 \pm 0,00$  e para todas as técnicas de secagem utilizadas pode-se classificar como de baixa umidade. De acordo com a Tabela 4.1 observa-se que houve diferença significativa entre amostras das cascas de manga ‘Palmer’ in natura e submetidas a diferentes técnicas de secagem em relação a luminosidade ( $L^*$ ), sendo as cascas liofilizadas as que apresentaram maior luminosidade ( $59,87 \pm 0,76$ ) e menor luminosidade para as amostras in natura ( $30,67 \pm 0,76$ ) e submetidas a temperaturas mais altas  $80\text{ }^\circ\text{C}$  ( $44,09 \pm 1,10$ ).

Os resultados corroboram com os obtidos por Durigon et al. (2013), os quais observaram que o tempo de secagem apresentou grande influência no escurecimento das amostras, utilizando secador convectivo em escala piloto e a estufa com circulação de ar para tomate italiano cortados em fatias.

Verificou-se para os valores obtidos em relação à tonalidade  $a^*$  diferença significativa entre as cascas submetidas à técnicas de secagem e amostra in natura, sendo menor valor encontrado para cascas liofilizadas ( $0,67 \pm 0,70$ ) e maior para amostra in natura ( $13,73 \pm 2,42$ ), indicando que as amostras in natura apresentam tendência a coloração vermelha e as amostras liofilizadas tendem à cor verde.

Os resultados obtidos para intensidade de  $b^*$  indicam que não houve diferença significativa entre as amostras submetidas à secagem convectiva nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e  $80\text{ }^\circ\text{C}$ , no entanto, diferem significativamente das amostras in natura e liofilizada, sendo encontrados valores de  $28,53 \pm 0,93$  e  $13,35 \pm 2,41$ , para as amostras

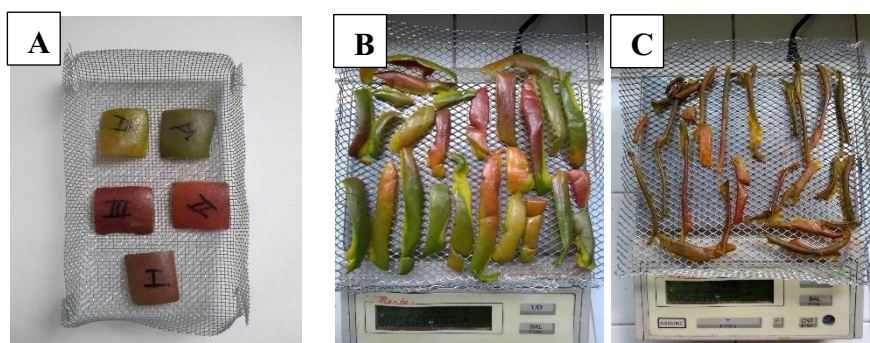
lioofilizadas e in natura, respectivamente, demonstrando uma maior presença de componentes amarelos nas cascas submetidas ao processo de secagem por liofilização.

## 4.2 Curvas de secagem e modelagem matemática

### 4.2.1 Modelos empíricos

As cascas de manga ‘Palmer’ nas dimensões 20 x 20 mm e com espessura média de 1,55 mm foram submetidas à secagem em estufa com circulação de ar forçado e velocidade do ar de secagem de 1,5 m/s., apresentando teor de umidade inicial em base seca média de 166,3 (% bs) e teor de umidade de equilíbrio média de 0,01224, 0,01116, 0,01275, 0,01424, 0,01798 para as temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C, respectivamente (Figura 4.1).

**Figura 4.1** (a) Cascas da manga ‘Palmer’ nas dimensões 20 x 20 mm e com espessura média de 1,55mm e (b) cascas da manga ‘Palmer’ antes e após secagem.



**Fonte:** Autor (2021).

Os parâmetros obtidos a partir dos ajustes dos modelos de Lewis, Henderson e Pabis, Wang e Singh, Peleg, Page e Silva et alii aos dados experimentais das cinéticas de secagem da casca de manga ‘Palmer’ encontram-se descritos a seguir, bem como o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e qui-quadrado ( $\chi^2$ ), obtidos para as secagens nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C, disponíveis no apêndice A. Os dados experimentais encontrados a partir dos parâmetros de ajuste do modelo de Lewis aos dados experimentais da secagem da casca da manga ‘Palmer’ demonstram um comportamento definido para o parâmetro a. Pode-se afirmar que o aumento da temperatura provocou a elevação desse parâmetro (Tabela 4.2).

**Tabela 4.2** Ajuste do modelo de Lewis aos dados experimentais da secagem da casca da manga ‘Palmer’ nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C.

Lewis				
T (°C)	Parâmetros		$R^2$	$\chi^2$
	a	b		
40	0,0123	-	0,9941	0,0293
50	0,0149	-	0,9940	0,0269
60	0,0226	-	0,9952	0,0120
70	0,0295	-	0,9911	0,2666
80	0,0417	-	0,9957	0,0096

**Fonte:** Autor (2021).

Na Tabela 4.3 encontram-se os parâmetros obtidos a partir do ajuste do modelo de Henderson e Pabis aos dados experimentais das cinéticas de secagem da casca da manga ‘Palmer’, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e qui-quadrado ( $\chi^2$ ), obtidos a partir da secagem para as temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C, disponíveis no apêndice A.

**Tabela 4.3** Ajuste do modelo de Henderson e Pabis aos dados experimentais da secagem da casca da manga ‘Palmer’ nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C.

Henderson e Pabis				
T (°C)	Parâmetros		$R^2$	$\chi^2$
	a	b		
40	1,0675	0,0137	0,9954	0,0141
50	1,0701	0,0166	0,9953	0,0125
60	1,0393	0,0240	0,9962	16,0000
70	1,0678	0,0320	0,9915	14,0000
80	1,0401	0,0436	0,9958	0,0069

**Fonte:** Autor (2021).

A partir dos parâmetros de ajuste do modelo de Henderson e Pabis aos dados experimentais da secagem da casca da manga ‘Palmer’ observa-se comportamento definido para o parâmetro b, este parâmetro representa a constante da taxa de secagem. Sendo possível afirmar, com base nos resultados obtidos, que a elevação da taxa de



secagem ocorreu em função do aumento da temperatura.

Na Tabela 4.4 encontram-se os parâmetros obtidos a partir do ajuste do modelo de Wang e Singh aos dados experimentais das cinéticas de secagem da casca da manga ‘Palmer’, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e qui-quadrado ( $\chi^2$ ), obtidos a partir da secagem para as temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C.

**Tabela 4.4** Ajuste do modelo de Wang e Singh aos dados experimentais da secagem da casca da manga ‘Palmer’ nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C.

T (°C)	Wang e Singh		$R^2$	$\chi^2$
	a	b		
40	-0,0059	0,7430	0,9063	0,4121
50	-0,0074	0,1156	0,9038	0,3709
60	-0,009	0,1645	0,8378	0,6732
70	-0,0128	0,3185	0,8350	0,5602
80	-0,0160	0,4922	0,7875	13,0000

**Fonte:** Autor (2021).

Os resultados mostrados na Tabela 4.4 para o modelo de Wang e Singh demonstraram quanto aos parâmetros a e b que não houve comportamento padrão com o aumento da temperatura. As variações dos parâmetros “a” e “b” se devem mais a ajustes matemáticos do que relacionados a algum fenômeno de secagem (GONELI et al., 2014).

Na Tabela 4.5 encontram-se os parâmetros obtidos a partir do ajuste do modelo de Peleg aos dados experimentais das cinéticas de secagem da casca da manga ‘Palmer’, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e qui-quadrado ( $\chi^2$ ), obtidos a partir da secagem para as temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C, disponíveis no apêndice A.

**Tabela 4.5** Ajuste do modelo de Peleg aos dados experimentais da secagem da casca da manga ‘Palmer’ nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C.

Peleg				
T (°C)	Parâmetros		$R^2$	$\chi^2$
	a	b		
40	65,5605	0,8330	0,9770	0,0843
50	54,1071	0,8272	0,9765	0,0749
60	32,8203	0,8780	0,9808	0,0464
70	26,1412	0,8420	0,9625	0,0811
80	17,2866	0,8652	0,9692	0,0531

**Fonte:** Autor (2021).

Os resultados obtidos para o modelo de Peleg demonstraram que não houve comportamento padrão em relação à elevação da temperatura de secagem, além de baixos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), sendo considerado um modelo inconsistente, podendo ser comprovado pelas curvas de secagem obtidas para esse modelo (Apêndice A).

Na Tabela 4.6 encontram-se os parâmetros obtidos a partir do ajuste do modelo de Page aos dados experimentais das cinéticas de secagem da casca da manga ‘Palmer’, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e qui-quadrado ( $\chi^2$ ), obtidos a partir da secagem para as temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C, disponíveis no apêndice A. É possível verificar que, para o modelo de Page, não houve comportamento padrão nos parâmetros a e b quando ocorreu o aumento da temperatura de secagem.

**Tabela 4.6** Ajuste do modelo de Page aos dados experimentais da secagem da casca da manga ‘Palmer’ nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C.

Page				
T (°C)	Parâmetros		$R^2$	$\chi^2$
	a	b		
40	0,0043	1,2562	0,9982	0,0063
50	0,0056	1,2508	0,9978	0,0064
60	0,0156	1,1053	0,9965	0,0088
70	0,0092	1,3401	0,9995	0,0009
80	0,0223	1,1978	0,9994	0,0008

**Fonte:** Autor (2021).

Na Tabela 4.7 encontram-se os parâmetros obtidos a partir do ajuste do modelo de Silva et alii aos dados experimentais das cinéticas de secagem da casca da manga ‘Palmer’, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e qui-quadrado ( $\chi^2$ ), obtidos a partir da secagem para as temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C, disponíveis no apêndice A.

**Tabela 4.7** Ajuste do modelo de Silva et alii aos dados experimentais da secagem da casca da manga ‘Palmer’ nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C.

Silva et alii				
T (°C)	Parâmetros		$R^2$	$\chi^2$
	a	b		
40	0,0179	-0,0398	0,9987	0,0041
50	0,0219	-0,0457	0,9988	0,0031
60	0,0284	-0,0319	0,9976	0,0065
70	0,0441	-0,0759	0,9981	0,0037
80	0,0548	-0,0607	0,9990	0,0015

**Fonte:** Autor (2021).

Analisando os resultados encontrados para o modelo de Silva et alii, é possível afirmar que quando a temperatura aumenta, ocorre também um aumento no valor do parâmetro “a” bem como o módulo do parâmetro “b”.

Os modelos de Henderson e Pabis, Lewis, Page e Silva et alii podem ser utilizados para representar o processo de secagem da casca da manga ‘Palmer’, pois apresentaram elevados coeficientes de determinação ( $R^2$ ) sendo os mesmos superiores a 0,9911, o que aumenta o nível de confiança dos ajustes e baixos qui-quadrados ( $\chi^2$ ).

Dentre os modelos utilizados, o de Page e Silva et alii ajustaram-se melhor aos dados experimentais, nas diferentes espessuras e temperaturas de secagem, apresentando os melhores coeficientes de determinação ( $R^2$ ) variando de 0,9965 a 0,9995 e os menores qui-quadrados ( $\chi^2$ ), apresentando ajuste às curvas aos dados experimentais.

Os modelos de Henderson e Pabis, Lewis e Silva et alii considerando esses mesmos indicadores estatísticos, apresentaram boa representação de ajuste aos pontos experimentais. Entre os modelos aplicados, o modelo de Wang e Singh e Peleg possuem parâmetros de ajuste insatisfatórios. Razoáveis coeficientes de determinação, maiores que 0,95, indicando que os modelos podem ser utilizados para prever o comportamento do produto com relação a perda de água durante o processo de secagem. Entretanto, valores de  $R^2$  próximos a 1 e valores de  $\chi^2$  próximos a 0 indicam maior eficiência do modelo matemático na descrição do processo (ALVES et al., 2019).

Por apresentar valores inferiores de qui-quadrados ( $\chi^2$ ) e maior simplicidade na aplicação, quando comparado aos demais modelos matemáticos utilizados, o modelo de Page foi considerado como o mais adequado para representar o fenômeno investigado no presente estudo.

#### 4.2.2 Cinética de secagem

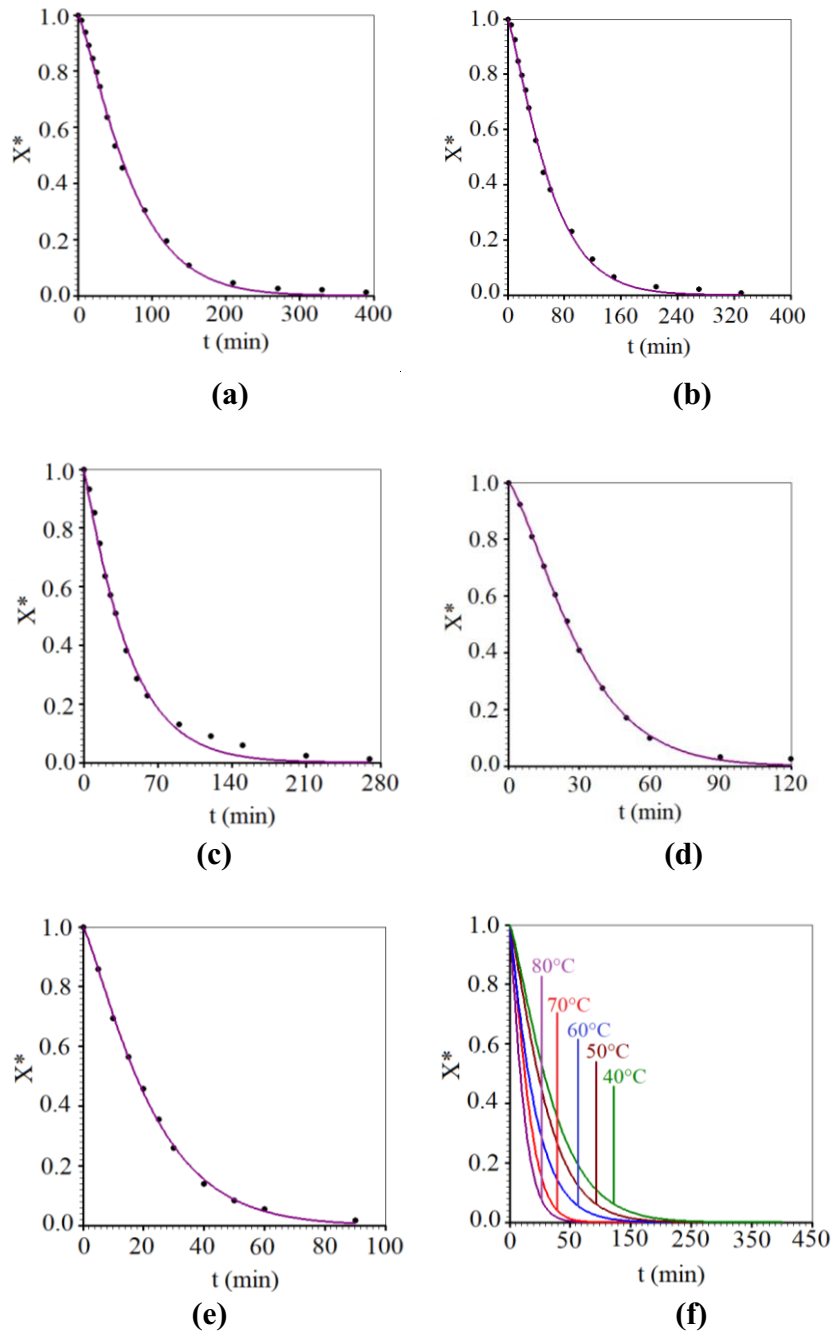
As curvas de secagem da casca de manga ‘Palmer’ (Figura 4.2) obtidas pela conversão dos dados referentes a perda de água parâmetro adimensional (razão de teor de água –  $RX$ ) nas diferentes temperaturas (40, 50, 60, 70 e 80 °C) utilizando a Equação 3.3, estão descritas a seguir.

A Figura 4.2 apresenta os dados experimentais obtidos para cinética de secagem da casca da manga ‘Palmer’ com espessura inicial média de 1,55 mm, submetidas à secagem convectiva determinadas através do modelo de Page nas temperaturas de (a) 40, (b) 50, (c) 60, (d) 70 e (e) 80 °C (f) superposição das cinco temperaturas.

As curvas de secagem das cascas de manga ‘Palmer’ obtidas nas diferentes temperaturas (40, 50, 60, 70, e 80 °C) estão apresentados na Figura 4.2, representadas pela razão de umidade em função do tempo. Os resultados demonstram que o aumento da

temperatura proporcionou uma redução no tempo de secagem, aumentando a taxa de perda de água principalmente no início do processo.

**Figura 4.2.** Cinética de secagem da casca da manga ‘Palmer’ determinadas através do modelo de Page nas temperaturas de (a) 40, (b) 50, (c) 60, (d) 70 e (e) 80 °C (f) superposição das cinco temperaturas.



Fonte: Autor (2021).

A utilização de técnicas de secagem com intuito de retirar água contida nos alimentos, bem dos resíduos agroindustriais como os provenientes do processamento de frutas, proporciona um aumento no período de armazenamento, conservação, reduzindo a degradação do produto e o desenvolvimento de substâncias nocivas para o consumidor (TONTUL; TOPUZ, 2017).

É notório o efeito significativo da temperatura sobre as curvas de secagem, onde o tempo de secagem apresentou comportamento decrescente com o aumento da temperatura do ar, efeito esperado e observado por diversos pesquisadores para inúmeros produtos agroindustriais como tomate, abacaxi, polpa do figo-da-índia, polpa de oiti (DURIGON et al. ,2013; MACHADO et al. 2012; SOUSA et al., 2011; MADUREIRA et al., 2011).

De acordo com Borges et al. (2010), tanto a temperatura quanto a velocidade do ar são influentes na secagem, acelerando ou retardando à secagem. Ao estudar a cinética de secagem do cajá verificou-se que a temperatura foi a variável de maior influência na secagem desta fruta (GOUVEIA et al., 2003).

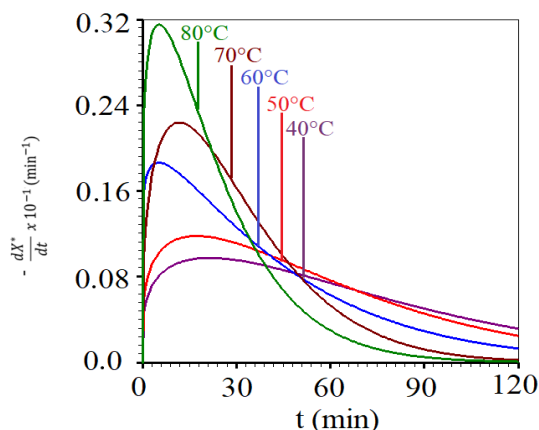
No presente estudo o tempo de secagem variou significativamente, de 390 a 90 min, para as temperaturas de 40 e 80 °C, respectivamente. Sendo observado também que altas taxas de secagem foram obtidas no início do processo, quando o conteúdo de umidade era maior, sendo que as maiores taxas foram apresentadas quando foram utilizadas temperaturas de secagem mais altas, para um mesmo valor de umidade.

O tempo necessário para realização da secagem pode ser influenciado por uma série de fatores tais como: o físico-químico, propriedades de material, a disposição geométrica do produto para a transferência de superfície de calor, velocidade e temperatura do ar, características do secador e tratamento anterior para secagem (DOYMAZ, 2007; HEREDIA et al., 2007; MURATORE et al., 2008; SANJINEZARGADOÑA et al, 2011.; DEMIRAY; TULEK, 2012).

#### 4.2.3 Taxas de secagem

Os resultados obtidos para as taxas de secagem da casca da manga ‘Palmer’ determinadas através do modelo de Page para as temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80°C estão representadas na Figura 4.3.

**Figura 4.3.** Taxas de secagem da casca da manga ‘Palmer’ determinadas através do modelo de Page para as temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80°C.



**Fonte:** Autor (2021).

Na Figura 4.3 observa-se o comportamento das taxas de secagem para as cinco temperaturas avaliadas (40, 50, 60, 70 e 80 °C), as quais apresentam comportamento crescente nos instantes iniciais do processo de secagem, denominado de período de indução, ao término dessa etapa, a maior taxa de secagem ( $-dX^*/dt$ ) no processo é alcançada, sendo proporcional ao gradiente de umidade, posteriormente ocorre o período da taxa de secagem decrescente até o período de taxa constante ou equilíbrio. Os resultados obtidos permitem afirmar que o aumento da temperatura do ar secagem provoca a elevação da taxa de secagem, as maiores taxas foram obtidas para as maiores temperaturas.

De acordo com Barbosa-Cánovas e Vega-Mercado (1996), o processo de remoção de umidade no período de taxa decrescente é limitado pelo processo de difusão da água do interior do alimento para a superfície, isto explica a grande influência da temperatura do ar de secagem nas curvas de secagem dos alimentos. Do mesmo modo, fatores externos possuem pouca influência na taxa de secagem, o que pode explicar a leve influência da velocidade do ar de secagem, que ocorre principalmente durante a transferência de calor convectiva.

#### 4.2.3 Modelo de difusão

Os resultados obtidos para a descrição das secagens da casca da manga ‘Palmer’ nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80°C através do modelo de difusão com condição de contorno do terceiro tipo encontram-se descritos na Tabela 4.8.

**Tabela 4.8** Difusividade efetiva de massa, coeficiente de transferência de calor ( $h$ ), número de Biot, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e qui-quadrado ( $\chi^2$ ) obtidos na descrição da secagem da casca da manga ‘Palmer’ com 1,55 mm de espessura média, nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C, usando o modelo de difusão.

T (°C)	$D_{ef}$ (m <sup>2</sup> min <sup>-1</sup> )	$h$ (m min <sup>-1</sup> )	Bi	$R^2$	$\chi^2$
40	$5,4 \times 10^{-6}$	$1,04 \times 10^{-5}$	$1,5 \times 10^{-3}$	0,9971	$1,02 \times 10^{-2}$
50	$6,56 \times 10^{-6}$	$1,26 \times 10^{-5}$	$1,5 \times 10^{-3}$	0,9972	$9,08 \times 10^{-3}$
60	$1,00 \times 10^{-5}$	$1,93 \times 10^{-5}$	$1,7 \times 10^{-3}$	0,9972	$5,27 \times 10^{-3}$
70	$1,28 \times 10^{-5}$	$2,47 \times 10^{-5}$	$1,5 \times 10^{-3}$	0,9934	$1,64 \times 10^{-2}$
80	$1,82 \times 10^{-5}$	$3,52 \times 10^{-5}$	$1,7 \times 10^{-3}$	0,9969	$5,47 \times 10^{-3}$

**Fonte:** Autor (2021).

É notório para a difusividade efetiva de massa os altos valores obtidos, enquanto o número de Biot para o transporte de massa apresenta baixos valores. Para um número de Biot tão baixo, a série infinita que representa a solução da equação de difusão pode ser representada apenas pelo seu primeiro termo, com erro de truncamento desprezível (SILVA et al., 2012).

Convém observar que o maior erro de truncamento da série infinita dada pela Equação 3.17 ocorre para  $t = 0$ , e este erro depende do número de Biot referente à secagem (SILVA et al., 2012). Para definir o número de termos ( $n_t$ ) a serem utilizados na Equação 3.17, o estudo de Silva et al. (2012) foi levado em consideração. Estes pesquisadores observaram que, para  $Bi = 0,001$ , somente 1 termo é necessário para obter  $X^*(0) = 1,0$ , que é o valor esperado. Por outro lado, quando o número de Biot aumenta, o erro de truncamento cresce de forma significativa. Assim, é necessário aumentar significativamente o número de termos da série para obter erros de truncamento desprezíveis, ou pelo menos aceitáveis. Uma vez determinados os parâmetros de processo para o modelo de difusão, a distribuição de umidade em um dado instante de tempo  $t$  pode ser determinada pela solução da equação de difusão dependente da posição  $x$ , com a origem estabelecida no centro da espessura das dimensões das cascas:

$$X^*(x, t) = \sum_{n=1}^{n_t} A_n \cos\left(\frac{\mu_n}{L/2} x\right) \exp\left[-\frac{\mu_n^2}{(L/2)^2} Dt\right] \quad (4.1)$$



$$A_n = \frac{4 \sin \mu_n}{2\mu_n + \sin(2\mu_n)} \quad (4.2)$$

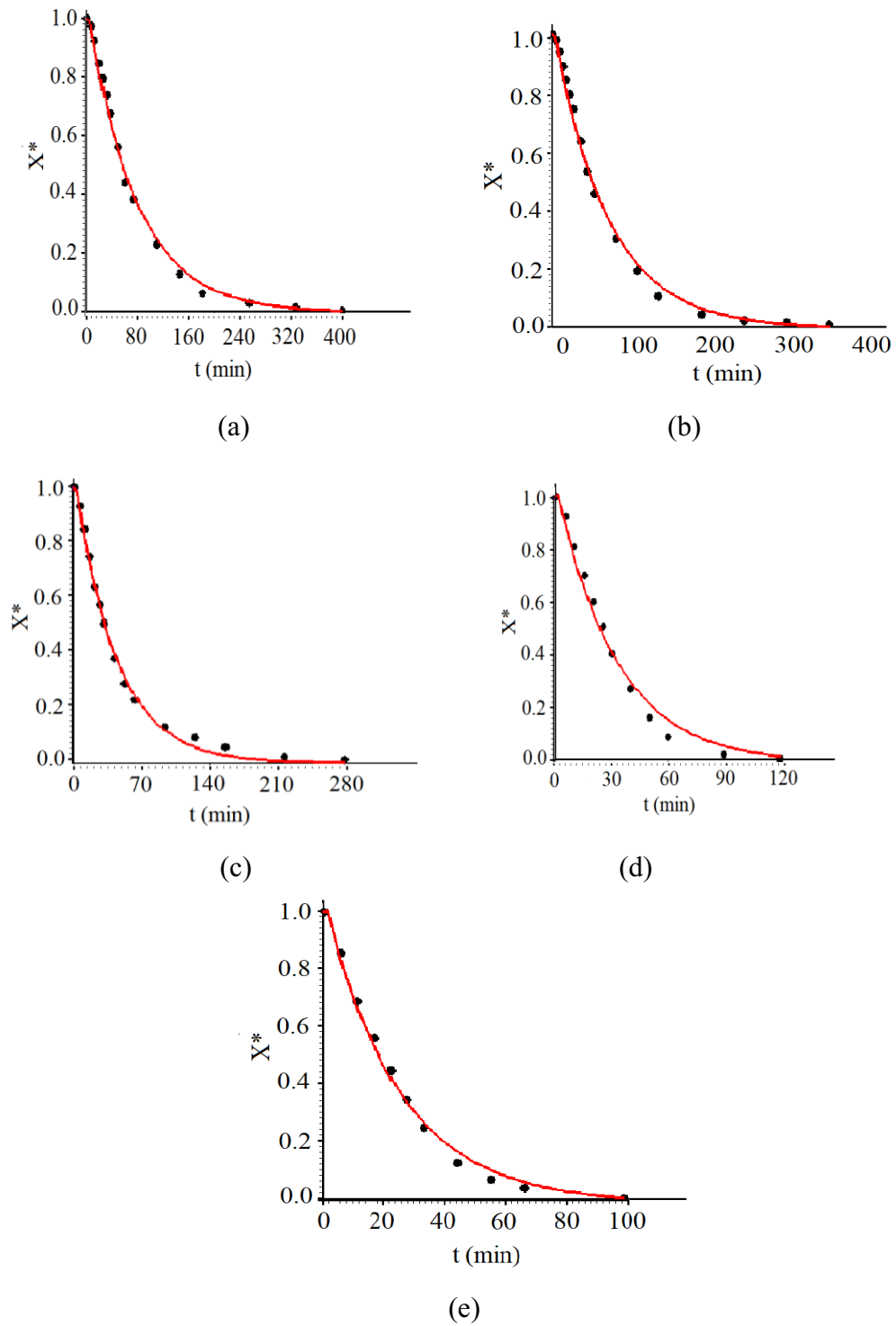
No caso de um modelo de difusão, a maioria dos fatores que influenciam o processo de secagem são englobados pelo coeficiente de transferência convectiva de massa (superfície externa),  $h$ , e pela difusividade efetiva de massa (meio interno),  $D$ . Sendo estes dois parâmetros de processo, juntamente com uma dimensão característica do produto (espessura, no caso de uma parede infinita) podem ser combinados para expressar um único parâmetro, denominado número de Biot para a transferência de massa (Equação 3.17).

Kayacier e Singh (2004) relataram que a energia de ativação diminui com a elevação do teor de água do produto. Nos processos de secagem, quanto menor a energia de ativação maior foi a difusividade de água no produto. Os gráficos referentes à descrição das cinéticas de secagem através do modelo de difusão são apresentados na Figura 4.3.

Os resultados descritos na Tabela 4.8 e os gráficos obtidos (Figura 4.3), sugerem que os melhores ajustes ocorreram para a temperatura de 60 °C, no entanto, todos os resultados para a descrição da cinética de secagem podem ser considerados apenas razoáveis. Percebe-se que a difusividade efetiva de massa é crescente com o aumento da temperatura e que todos os valores obtidos para o número de Biot para transferência de massa é da ordem de  $10^{-3}$ . Todos os experimentos apresentaram valores de  $R^2$  superiores a 0,99 e baixos valores de  $\chi^2$ , demonstrando bom ajuste do modelo de difusão com solução analítica e condição de contorno do terceiro tipo aos dados experimentais obtidos.

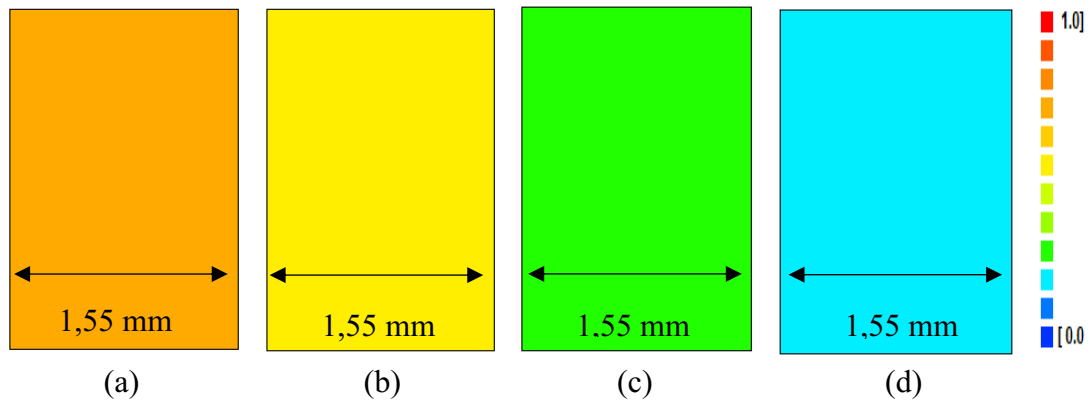
Com base nos resultados, observa-se que no interior da casca da manga ‘Palmer’, a distribuição de umidade em um dado instante é praticamente uniforme, o que significa que a umidade é perdida pelas cascas sem gerar gradientes consideráveis de umidade. Para que se possa visualizar esta informação, o domínio unidimensional (espessura) foi dividido em 100 partes, e a coordenada  $x$  do ponto central de cada uma das 100 partes foi substituída na Equação 3.17, o que possibilitou determinar os teores de umidade em cada uma dessas 100 partes ao longo da direção  $x$  (espessura). Na Figura 4.4 são apresentados os resultados para à secagem da casca da manga ‘Palmer’ com espessura inicial de 1,55 mm a 60 °C, nos instantes de 15, 25, 50 e 70 min.

**Figura 4.4.** Descrição por modelo de difusão das cinéticas de secagem da casca da manga ‘Palmer’ nas temperaturas de (a) 40, (b) 50, (c) 60, (d) 70 e (e) 80 °C.



**Fonte:** Autor (2021).

**Figura 4.5** Distribuição de umidade na parede infinita para à secagem a 60 °C em fatias de espessura inicial de 1,55 mm nos instantes: (a) 15 min; (b) 25 min; (c) 50 min e (d) 70 min.



**Fonte:** Autor (2021).

Os resultados obtidos e apresentados na Figura 4.4, evidenciam que os gradientes de umidade não foram significativos no interior das cascas, em um dado instante, sendo encontradas concentrações uniformes nos instantes avaliados, indicando gradientes de umidade desprezíveis. Para fenômenos de secagens com esse tipo de comportamento para distribuição de umidade, pode-se substituir o modelo de difusão por modelos mais simples ou utilizando equação empírica, como observado por Putranto et al. (2011); Putranto e Chen (2016); Gao et al. (2016); Haque et al. (2016); Kaleta e Górnicki (2010); Silva et al. (2013) e Silva et al. (2014).

Da equação característica para parede infinita (Equação 3.20), pode-se escrever:

$$Bi \cos \mu - \operatorname{sen} \mu = 0 \quad (4.3)$$

é uma equação transcendental, ou seja, que não possui uma solução exata expressa através de funções conhecidas, sendo necessário recorrer ao cálculo numérico para obter uma solução.

Para  $B_1 = 0,001$ , como foi mostrado por Silva et al. (2011) e determinado somente a primeira raiz, usando o programa LAB Fit tem-se  $\mu = 0,03162$ . Substituindo-se esses valores na Equação 3.18, para o primeiro termo, tem-se:

$$B_1 = \frac{2 \times 0,001^2}{0,03162^2 (0,001^2 + 0,001 + 0,03162^2)} \quad (4.4)$$

$$B_1 = 0,9998, \text{ ou ainda, } B_1 \cong 1$$

Dessa forma a Equação 3.17 pode ser escrita como:

$$X^* = e^{-at} \quad (4.5)$$

Onde

$$a = \mu_1^2 \frac{D}{(L/2)^2} \quad (4.6)$$

A Equação 4.5 pode ser interpretada como a equação empírica de Lewis, como observado na Tabela 4.2. Esse modelo foi razoável para descrever a cinética de secagem das cascas da manga ‘Palmer’, indicando que o modelo de difusão não é tão adequado a um produto teor de umidade inicial tão elevado: praticamente não ocorrendo gradientes de umidade.

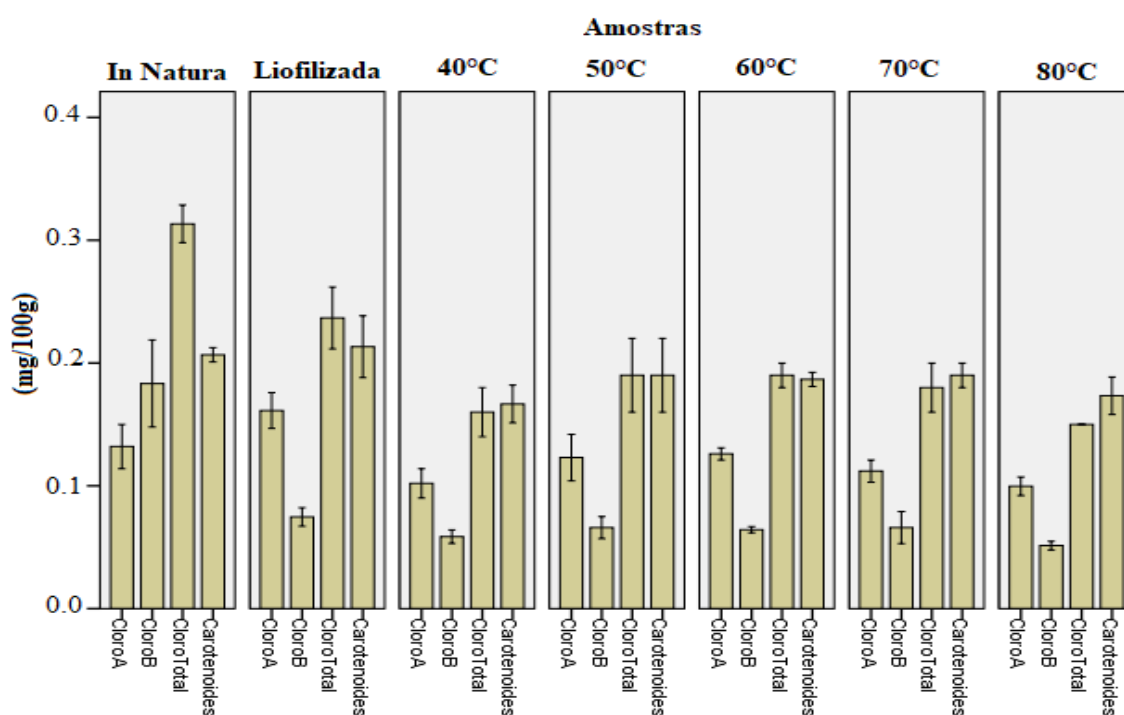
De acordo com Su (2001), esse comportamento no processo de secagem pode ser comparado com um problema de transferência de calor, semelhante a Lei de Resfriamento de Newton, também considerada como um caso de modelo agrupado. Baseado nestas informações, é notório que a possibilidade de determinação da distribuição do teor de água no interior da casca da manga ‘Palmer’ em um dado instante (possibilidade de cálculo das tensões internas que podem produzir deformações irregulares) que é uma das principais vantagens do modelo de difusão, não tem relevância na descrição deste tipo de secagem. No entanto, a utilização do modelo de difusão foi importante por proporcionar

a determinação da condição de contorno do problema, bem como a predição da ausência de gradientes significativos de umidade no interior do produto.

### 4.3 Clorofila e carotenoides

Os resultados obtidos para análise de clorofila e carotenoides (Apêndice B) realizada na casca da manga ‘Palmer’ in natura, liofilizada e submetidas à secagem em estufa nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C podem ser observados na Figura 4.6.

**Figura 4.6** Valores médios de clorofila ‘a’ e clorofila ‘b’, clorofila total e carotenoides totais da casca da manga ‘Palmer’ in natura e utilizando diferentes técnicas de secagem.



**Fonte:** Autor (2021).

Pode-se observar que não houve uma correlação entre os valores médios de clorofila ‘a’, ‘b’ e total da casca da manga ‘Palmer’ in natura e submetidas a diferentes técnicas de secagem (Apêndice B). Para Clorofila ‘a’, o processo de secagem por liofilização proporcionou maior concentração desse composto ( $0,16 \pm 0,01$ ) mg (100)<sup>-1</sup>, não diferindo significativamente em relação a temperatura de 60 °C e in natura. As temperaturas de 40, 50, 70 e 80 °C apresentaram menores valores e não apresentaram diferença significativa entre si.

Os valores identificados para clorofila b demonstraram que o maior valor encontrado foi para a casca da manga ‘Palmer’ in natura ( $0,18 \pm 0,04$ ) mg (100)<sup>-1</sup>, os demais processos de secagem não apresentaram diferença significativa, evidenciando que as técnicas de secagem realizadas no presente estudo promoveram uma redução na concentração de clorofila b, no entanto, apresentaram comportamento semelhante.

Os dados obtidos para clorofila total evidenciam que o maior teor encontrado foi para as amostras in natura ( $0,31 \pm 0,02$ ) mg (100)<sup>-1</sup>. A casca da manga ‘Palmer’ submetida à liofilização e como também à secagem em estufa nas temperaturas de 50 e 60 °C não apresentaram diferença significativa. As temperaturas de 40, 70 e 80 °C promoveram maior redução na concentração de clorofila total. Segundo Lanfer-Marquez (2003), a molécula de clorofila não é uma molécula isolada, quimicamente pertence a uma família de substâncias semelhantes entre si, designadas de clorofila *a*, *b*, *c* e *d*. Estruturalmente são moléculas complexas, pertencentes à classe das porfirinas.

Pode-se observar que os resultados obtidos demonstraram que houve diferença significativa entre a casca da manga ‘Palmer’ in natura e submetidas a diferentes técnicas de secagem em relação aos parâmetros de clorofila ‘a’, clorofila ‘b’, clorofila total, não apresentando diferença significativa para o parâmetro carotenoides totais, ou seja, o conteúdo de carotenoides totais não sofreu influência dos métodos de secagem.

#### 4.4 Atividade antioxidante e conteúdo bioativo total (fenólicos totais - FT)

Os resultados obtidos para a casca da manga ‘Palmer’ in natura e submetida a diferentes técnicas de secagem avaliadas quanto à captura de radicais livres DPPH e ABTS, bem como quanto ao poder de redução do ferro e conteúdo bioativo total (fenólicos totais - FT) estão apresentadas na Tabela 4.9, sendo possível verificar qual o melhor solvente para extração desses compostos, bem como o efeito das diferentes técnicas de secagem sobre eles.

**Tabela 4.9.** Atividade Antioxidante Total (AOX) da casca da manga ‘Palmer’ in natura e utilizando diferentes técnicas de secagem, segundo métodos de Captura do Radical Livre - DPPH, Captura do Radical Livre – ABTS, Redução do Ferro – FRAP e Conteúdo bioativo total (Fenólicos Totais - FT).

Parâmetros	Amostras						
	In natura	Liofilizada	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C
AOX DPPH Etanol	145,58±0,52 a	46,52±0,23 e	58,03±0,71 d	57,40±0,19 d	84,93±0,25 c	102,37±0,09 b	80,86±0,77 c
AOX DPPH Água	62,44±0,32 e	185,47±0,43 a	162,26±0,23 b	108,05±0,19 c	72,99±0,19 d	121,38±0,09 c	106,62±1,25 c
AOX DPPH Acetona	100,28±0,47 a	68,11±0,40 bc	65,75±0,41 bc	49,81±0,18 d	65,84±0,72 bc	60,65±1,55 d	77,31±0,69 b
AOX ABTS Etanol	22,26±0,27 ab	15,86±0,29 d	23,95±0,43 ab	14,56±0,14 d	22,39±0,37 ab	28,52±0,32 a	28,17±0,25 ab
AOX ABTS Água	16,30±0,21 d	25,98±0,27 bc	24,09±0,19 c	25,48±0,11 bc	17,50±0,13 d	31,72±1,00 a	28,62±1,99 ab
AOX ABTS Acetona	24,58±0,18 a	18,13±0,30 d	19,60±0,84 bc	14,88±0,10 d	23,17±0,14 ab	23,43±0,47 ab	25,84±2,15 a
FRAP Etanol	32,64±3,67 c	15,22±5,31 e	33,20±2,30 c	25,01±5,80 d	35,20±2,00 bc	44,52±1,63 a	36,34±1,97 b
FRAP Água	41,80±4,20 e	31,26±6,09 f	63,50±2,65 b	51,11±6,45 c	52,45±0,32 c	48,60±1,89 d	66,63±2,27 a
FRAP Acetona	33,20±4,73 d	30,01±6,87 e	42,23±3,00 c	44,52±7,10 c	36,34±2,64 b	56,59±2,14 a	53,62±2,56 b
<sup>ψ</sup> FT Etanol	12109,89±4,79 a	4056,63±5,09 b	1661,04±2,03 e	1610,07±1,73 e	2109,57±0,81 de	2812,96±3,05 c	2323,65±3,05 cd
<sup>ψ</sup> FT Água	11630,77±4,69 c	17787,95±2,65 a	13761,32±1,12 b	8358,49±1,52 e	5249,32±4,07 f	10234,19±3,36 d	9072,08±1,02 e
<sup>ψ</sup> FT Acetona	10152,64±9,07 a	8276,94±9,48 b	4117,79±6,21 c	3230,91±1,01 c	3159,56±3,77 c	4729,49±6,21 c	3261,49±4,58 c

AOX ABTS/DPPH- Atividade antioxidante expressa como equivalente ao Trolox em mM Kg<sup>-1</sup> (mM TEAC L<sup>-1</sup>). FRAP- poder antioxidante de redução de ferro expresso em milimols de Fe<sup>2+</sup> (mM Fe<sup>2+</sup> Kg<sup>-1</sup>). <sup>ψ</sup>Fenólicos Totais medidos com Folin-Ciocalteu expresso como mg.Kg<sup>-1</sup> equivalente ao ácido gálico. Médias seguidas da mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Para a determinação da atividade antioxidante pelo método DPPH nota-se que a água conseguiu extrair melhor os compostos, sendo obtidos teores elevados para a casca da manga 'Palmer' submetida à secagem por liofilização ( $185,47 \pm 0,43$ ) mM Trolox/Kg e para as temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C.

Para as amostras in natura e na temperatura de 60 °C o etanol obteve melhores resultados. O método ABTS apresentou melhores resultados utilizando a água como solvente para obtenção dos extratos sendo o maior teor encontrado para casca da manga 'Palmer' submetida à secagem em estufa na temperatura de 70 °C ( $31,72 \pm 1,00$  mM Trolox.Kg<sup>-1</sup>). Para as amostras liofilizada e submetidas à secagem convectiva nas temperaturas de 40,50, e 80°C também foram obtidos melhores resultados para os extratos aquosos.

Rufino et al. (2010) encontraram, para os extratos aquosos da polpa e casca de *Byrsonima dealbata*, valor igual a 0,41 mM Trolox.Kg<sup>-1</sup>, superior ao encontrado para a casca da manga 'Palmer', neste estudo. Os resultados obtidos para o método de FRAP não apresentaram comportamento semelhante aos demais métodos de determinação da atividade antioxidante, tanto em relação ao solvente quanto ao método de secagem. A maior atividade antioxidante foi encontrada para a temperatura de 80 °C ( $66,63 \pm 2,27$  mM Fe<sup>2+</sup>.Kg<sup>-1</sup>) utilizando acetona como solvente.

Os resultados expressivos para atividade antioxidante de captura de radicais livres verificada para casca da manga 'Palmer' podem estar relacionados com o fato de que os frutos utilizados nesse experimento foram encontrados em regiões onde há grande incidência de luz responsável por favorecer o surgimento de cascatas de radicais livres e, consequentemente, de mecanismos capazes de combatê-los (LIMA et al., 2007).

Em relação ao teor de fenólicos totais pode-se observar que a maior concentração foi obtida para amostra de casca de manga 'Palmer' submetida à secagem por liofilização ( $17787,95 \pm 2,65$  mg.Kg<sup>-1</sup>) para extratos aquosos. A água foi o melhor solvente para realização da extração dos compostos bioativos e atividade antioxidante da casca da manga 'Palmer' in natura e submetida à secagem por liofilização e secagem em estufa nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C. As amostras da casca de manga 'Palmer' liofilizadas apresentaram teores significativos de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante.



#### 4.6 Caracterização físico-química da casca da manga in natura e do pó liofilizado.

A Tabela 4.10 apresenta os resultados obtidos para os parâmetros físico-químicos para a casca *in natura* e do pó obtido para casca da manga liofilizada.

**Tabela 4.10.** Caracterização físico-química da casca da manga in natura e submetida à secagem por liofilização.

<b>Parâmetros</b>	<b>In natura</b>	<b>Liofilização</b>
pH	4,64 ± 0,02	4,36 ± 0,02
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	3,43 ± 0,19	2,69 ± 0,09
Vitamina C (mg (100) <sup>-1</sup> de ácido ascórbico)	9,01 ± 0,28	26,3 ± 0,85
Lipídios (%)	0,67 ± 0,01	0,65 ± 0,06
Proteínas (%)	0,52 ± 1,73	1,37 ± 1,73
Carboidratos (%)	21,89 ± 0,03	-
Sólidos solúveis totais (°Brix)	-	30,00 ± 0,01
Açúcares redutores	-	16,49 ± 0,23
Açúcares não-redutores	-	19,49 ± 0,62
Açúcares totais	-	35,98 ± 0,43
Amido (%)	-	22,42 ± 0,12
Fibras (FDN)	-	21,61 ± 0,07
Fibras (FDA)	-	19,00 ± 0,09

**Fonte:** Autor (2021).

Segundo os dados apresentados na Tabela 4.10, pode-se observar que o processo de secagem por liofilização promoveu uma redução para os parâmetros pH e acidez total titulável da casca da manga ‘Palmer’, com resultados de 4,64 ± 0,02 e 4,36 ± 0,02 para o pH da amostra *in natura* e liofilizada, respectivamente. Sendo para acidez total titulável encontrados valores de 3,43 ± 0,19 (*in natura*) e 2,69 ± 0,09 (liofilizada). Com base nesses resultados observa-se que à secagem proporcionou características favoráveis em relação

ao pH e acidez, pois o pó liofilizado da casca da manga ‘Palmer’ encontra-se abaixo do pH de segurança, garantindo maior estabilidade ao produto.

Segundo Rufino et al. (2010), as análises de pH e acidez em alimentos são parâmetros utilizados como indicativos em relação a conservação, podendo auxiliar na previsão da vida de prateleira (shelf-life).

A instabilidade do ácido ascórbico é um indicador da qualidade nutricional de frutas e hortaliças, para o presente estudo foi observado valores significativos desse composto após à secagem por liofilização, a qual proporcionou uma concentração no teor de vitamina C ( $26,3 \pm 0,85 \text{ mg (100)}^{-1}$ ). De acordo com esse valor, 100 g do pó da casca da manga ‘Palmer’ equivale a mais de 50% da Ingestão Diária Recomendada (IDR) para adultos que é de 45 mg (BRASIL, 2005), com isso, pode-se afirmar que a casca da manga ‘Palmer’ liofilizada apresenta valores significativos de vitamina C.

O teor médio de vitamina C na casca da manga ‘Palmer’ in natura foi de  $9,01 \pm 0,28 \text{ mg (100)}^{-1}$ , após o processamento com à secagem por liofilização, verificou-se um aumento de aproximadamente 300% corroborando com os resultados obtidos por Coelho, B. et al. (2019) que obtiveram concentração de cerca de 200% para manga ‘Espada’ por meio de secagem solar e Elias et al. (2008) que constataram uma concentração em torno de 300% de vitamina C na avaliação nutricional de caqui cv. ‘Fuyu’, quando submetido a uma desidratação osmótica e secagem por convecção, em relação ao fruto in natura.

O teor de lipídios não apresentou diferença significativa em relação a casca da manga ‘Palmer’ in natura e liofilizada. O valor médio para proteínas da amostra in natura foi de  $0,52 \pm 1,73 \%$ , sendo observado uma concentração desses componentes após a liofilização ( $1,37 \pm 1,73 \%$ ). Rybka et al. (2018) analisaram a composição centesimal da farinha da casca da manga ‘Tommy Atkins’, encontrando valores abaixo dos observados no presente estudo, proteínas (0,82 %) e Ramos et al. (2021) obtiveram valor superior (3,92 %) ao avaliar farinha da casca da manga ‘Tommy Atkins’.

O pó da casca da manga ‘Palmer’ liofilizado apresentou teores elevados de sólidos solúveis totais ( $30,00 \pm 0,01$  °Brix), bem como para o teor de açúcares redutores, não redutores e totais com valores de  $16,49 \pm 0,23$ ,  $19,49 \pm 0,62$ ,  $35,98 \pm 0,43$ , respectivamente, podendo estar relacionado ao estágio de maturação da matéria-prima que proporciona esse comportamento na composição desses componentes, sendo justificado pelo elevado teor de sólidos solúveis totais promover uma intensificação no

sabor doce do produto, além da concentração desses compostos oriundos do processo de secagem que tem por princípio a remoção de água livre, corroborando com os resultados obtidos por Coelho, B. et al. (2019) e Costa (2017).

O teor de amido determinado no pó da casca da manga 'Palmer' liofilizado foi de  $22,42 \pm 0,12$  %, demonstrando que não podemos considerar esse produto como farinha, devido ao teor de amido obtido ter sido abaixo do valor mínimo preconizado pela legislação (mínimo de 70%) (BRASIL, 1978).

Segundo Cecchi (2003), a fibra em detergente neutro (FDN) e a fibra em detergente ácido (FDA) está relacionado as porções pouco digeríveis da parede celular, sendo a fibra em detergente ácido (FDA) constituída, basicamente, de lignocelulose, ou seja, lignina mais celulose, enquanto a fibra em detergente neutro (FDN) compreende frações de celulose, hemicelulose e lignina.

A diferença entre essas duas frações (FDA e FDN) pode ser considerada uma estimativa do teor de hemicelulose na amostra. Os valores obtidos para fibras FDN e FDA para o pó da casca da manga 'Palmer' liofilizada de  $21,61 \pm 0,07$  % e  $19,00 \pm 0,09$  %, respectivamente, foram semelhantes aos encontrados por Rybka et al. (2018) estudando a farinha da casca da manga 'Palmer' encontrou percentuais de 21,69 (FDN) e 16,44 (FDA), sendo considerados significativos com quantidades expressivas dessas frações de fibras.

#### 4.7 Caracterização física do pó da casca da manga 'Palmer' liofilizada.

A Tabela 4.11 apresenta os resultados obtidos para os parâmetros físicos para o pó obtido para casca da manga 'Palmer' liofilizada, pode-se observar que a solubilidade é um fator importante na formulação do produto, pois segundo Santana et al. (2017), pós com altos valores de solubilidade podem ser utilizadas em alimentos que requerem temperaturas mais baixas (instantâneas) ou como ingredientes em sopas, molhos e sobremesas que necessitam de uma solubilidade maior. Dessa forma, o pó da casca da manga 'Palmer' liofilizada possui uma solubilidade de 35,1 %, valor esse que se apresentou superior quando comparado com estudo de Santos et al. (2018) que encontrou o valor de  $22,06 \pm 0,83$  para a farinha de amêndoa de manga.

**Tabela 4.11.** Determinações físicas do pó da casca da manga ‘Palmer’ Liofilizada.

Parâmetros	Média
Solubilidade (%)	35,1 ± 0,88
Higroscopicidade (%)	53,29 ± 1,35
Molhabilidade (g min <sup>-1</sup> )	5,38 ± 0,32
Densidade real (g cm <sup>-3</sup> )	1,50 ± 0,05
Densidade aparente (g cm <sup>-3</sup> )	0,47 ± 0,00
Densidade compactada (g cm <sup>-3</sup> )	0,60 ± 0,02
Fator de Hausner (%)	1,28 ± 0,02
Índice de compressibilidade (%)	0,22 ± 0,02
Ângulo de repouso (%)	34,56 ± 0,41
Porosidade (%)	68,53 ± 1,28

**Fonte:** Autor (2021).

Em relação ao parâmetro de higroscopicidade do pó, o qual é muito importante para avaliar diversos processos como desidratação e armazenamento. Santos et al. (2018) encontrou o valor de 11,46 ± 0,26 %, sendo este inferior ao encontrado no presente estudo de 53,29 ± 1,35 %, o que indica que o pó da casca da manga ‘Palmer’ liofilizada apresenta um potencial higroscópico significativo.

Quanto ao parâmetro de molhabilidade verificou-se que o tempo para que o pó da casca de manga ‘Palmer’ liofilizada se encontrasse todo molhado foi de 5,38 ± 0,32 (g min<sup>-1</sup>), sendo semelhante ao encontrado por Dantas (2018) com um tempo de 5,2 min para um suco em pó. Isso pode estar relacionado com o tempo de dispersão que está diretamente ligado à molhabilidade do pó, o qual é acelerado quanto maior o diâmetro e porosidade das partículas, pois quanto mais espaços vazios, mais fácil é a penetração de água.

Em relação a densidade real do pó da casca de manga ‘Palmer’ liofilizada observou-se um valor médio de 1,50 ± 0,05 g cm<sup>-3</sup>, resultado superior ao encontrado por Souza (2015) para a polpa da atemoia em pó obtida em secador por aspersão coletada na câmara de secagem de 1,26 g cm<sup>-3</sup>.

A densidade aparente do pó da casca de manga ‘Palmer’ liofilizada, realizada com a finalidade de observar o volume ocupado pelo pó, observou-se que foi maior em relação à densidade aparente obtida por Santos et al. (2018) que encontraram uma densidade de

0,506 ± 0,004 g cm<sup>-3</sup> para o pó da amêndoa de manga. Quanto a densidade compactada realizada para retirar o ar, por meio de batidas sucessivas, para fazê-lo ocupar um espaço menor, foi observado no presente estudo um valor próximo ao encontrado por Dantas (2018) com valores médios de 0,7459 g cm<sup>-3</sup>, 0,6325 g cm<sup>-3</sup> e 0,6763 g cm<sup>-3</sup> para os sucos em pós formulados.

Em relação a fluidez, compatibilidade do pó e coesividade que é expressa pelo fator de Hausner apresentou um valor médio de 1,28 ± 0,02 % foi inferior ao encontrado por Santos et al. (2018) com um valor de 1,71 ± 0,01 %. Segundo Santhalakshmy et al. (2015) pós que apresentam FH > 1,4 são considerados de alta coesividade, dessa forma o pó da casca de manga 'Palmer' liofilizada enquadra-se com um produto de fácil escoamento.

Como resultado da relação entre densidade aparente e densidade compactada, é possível demonstrar o parâmetro de índice de compressibilidade, permitindo a avaliação do fluxo e compressão de sólidos, o valor encontrado admitisse que o material seja de baixa fluidez, de acordo com Villanova et al. (2012).

Segundo Lobato (2013), o ângulo de repouso sofre influência decisiva pelo tamanho, forma, orientação das partículas e umidade do produto. O valor encontrado no presente estudo de 34,56 ± 0,41 se encontra na faixa entre 30 e 38 % determinada por Campos (2012), indicando que o pó da casca da manga 'Palmer' liofilizada tenha um escoamento com maior facilidade.

A porosidade encontrada no pó da casca da manga 'Palmer' liofilizada foi de 68,53 ± 1,28 %. De acordo com Carneiro et al. (2018), a porosidade em farinhas pode variar entre 30-50 %, assim a porosidade do pó obtido no presente encontra-se acima dessa faixa, o que implica em um maior número de espaços vazios provocando a maior presença de oxigênio, permitindo uma rápida degradação mais dos compostos oxidantes, em contrapartida melhora a absorção de água do material (MARTINS, 2019).

#### 4.8 Caracterização de minerais do pó da casca da manga ‘Palmer’ liofilizada.

A Tabela 4.12 apresenta os resultados obtidos para a caracterização de minerais do pó da casca da manga ‘Palmer’ liofilizado.

**Tabela 4.12.** Perfil de minerais da casca da manga ‘Palmer’ liofilizada.

<b>Minerais</b>	<b>Casca manga</b>	<b>Santos et al.</b>	<b>Fonseca et al.</b>
<b>Macro</b>	<b>‘Palmer’ liofilizada</b>	<b>(2020)</b>	<b>(2021)</b>
N (g.Kg <sup>-1</sup> )	5,08 ± 0,02	-	-
P (g.Kg <sup>-1</sup> )	0,84 ± 0,01	0,006	0,05±0,02
K (g.Kg <sup>-1</sup> )	9,87 ± 0,04	0,02	0,07±0,3
Ca (g.Kg <sup>-1</sup> )	16,56 ± 0,01	0,2	0,10±0,05
Mg (g.Kg <sup>-1</sup> )	2,38 ± 0,01	0,15	0,1±0,05
S (g.Kg <sup>-1</sup> )	0,89 ± 0,02	-	0,06±0,06
Na (g.Kg <sup>-1</sup> )	0,47 ± 0,04	5,4	0,001±0,6
Cl (g.Kg <sup>-1</sup> )	6,0 ± 0,14	-	-
<b>Micro</b>			
Cu (mg.Kg <sup>-1</sup> )	3,28 ± 0,01	-	-
Zn (mg.Kg <sup>-1</sup> )	7,66 ± 0,01	-	-
Fe (mg.Kg <sup>-1</sup> )	62,26 ± 0,01	3,2	-
Mn (mg.Kg <sup>-1</sup> )	23,33 ± 0,01	-	-
B (mg.Kg <sup>-1</sup> )	38,19 ± 0,01	-	-

**Nota:** N, P, K, Ca e Mg (Digestão com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>); S, Fe, Cu, Mn, Zn e Na (Digestão HNO<sub>3</sub> e HClO<sub>4</sub>); B (Extração por combustão via seca).

**Fonte:** Autor (2021).

O conteúdo de minerais tem influência nas atividades hormonais vitais ao organismo. Dessa forma, o teor de cinzas permite avaliar e determinar a quantidade de cálcio, fósforo e sais minerais de extrema importância na manutenção e formação saudável dos ossos, dentes, equilíbrio dos líquidos orgânicos, do alimento estudado (MENDES-FILHO, 2014).

Santos et al. (2020) estudando diferentes variedades de manga e Fonseca et al. (2021) avaliando a casca da manga ‘Carlota’, encontraram valores inferiores aos obtidos no presente trabalho.

Pode-se destacar o teor de Na (sódio) encontrado para o pó casca da manga ‘Palmer’ ( $0,47 \text{ g Kg}^{-1}$ ), valor inferior ao obtido por Santos et al. (2020). Um alto consumo de sódio é um fator de risco para a hipertensão arterial, e o consumo reduzido desse, diminui o risco de doenças cardiovasculares (SARNO et al., 2013). Com isso, podemos verificar que o pó casca da manga ‘Palmer’ promove melhor qualidade de vida aos consumidores.

O cálcio é um nutriente muito exigido pela mangueira, pois, contribui significativamente no desenvolvimento celular e dos seus frutos, influenciando na sua firmeza e vida útil (DE OLIVEIRA, 2010). Foi encontrado um teor significativo de Cálcio (Ca) para o pó casca da manga ‘Palmer’ ( $16,56 \pm 0,01 \text{ g Kg}^{-1}$ ).

Em relação ao magnésio, observou-se teores elevados ( $2,38 \pm 0,01 \text{ g Kg}^{-1}$ ) em relação aos obtidos por Santos et al. (2020) e Fonseca et al. (2021), uma vez que este mineral atua como cofator de muitas reações metabólicas, desempenhando importante papel na instabilidade da membrana neuromuscular e cardiovascular, funções hormonais, imunológicas etc. Sendo suas principais fontes as frutas, vegetais folhosos, entre outros (BATISTA et al., 2016).

Neste estudo, a determinação do macro componente Potássio (K) destacou-se em relação aos valores encontrados por Santos et al. (2020) e Fonseca et al. (2021). Este nutriente pode ser bastante útil ao equilíbrio dos líquidos no organismo humano e que recentes pesquisas sugerem que o potássio pode ter ação anticancerígena (MENDES-FILHO, 2014).

Com base nesses resultados, nota-se que o pó da casca da manga ‘Palmer’ submetido à técnica de secagem por liofilização apresentou resultados satisfatórios em relação ao conteúdo de minerais, indicando seu potencial tecnológico para obtenção de produtos alimentícios.

#### 4.9 Citotoxicidade

O estudo da citotoxicidade em produtos em pó torna-se importante para assegurar a utilização e os benefícios atribuídos na elaboração de novos produtos. Os resultados do teste toxicológico realizados foram positivos, apresentando ausência de toxicidade. Após as 24h de exposição dos náuplios de *Artemia* ao pó da casca da manga ‘Palmer’, foi feita a contagem dos náuplios vivos e mortos, observou-se ausência de morte, todos náuplios

expostos encontravam-se vivos, evidenciando a não toxicidade do pó da casca da manga ‘Palmer’.

#### 4.10 Extração assistida

Os resultados obtidos para extração assistida do conteúdo bioativo total (fenólicos totais – FT) da casca da manga ‘Palmer’ foram ajustados utilizando uma função empírica  $f(t, a, b)$  com, no máximo, dois parâmetros de ajuste, sendo escolhida a equação empírica obtida pelo modelo de Peleg e ajustada para curva de crescimento, tem-se:

$$f = x / (a + b * x) \quad (4.7)$$

O ajuste da equação empírica aos dados experimentais foi realizado por meio do programa computacional LAB Fit Curve Fitting Software (SILVA et al., 2004). Os parâmetros obtidos a partir dos ajustes do modelo de Peleg, para curva de crescimento (Eq. 4.3) aos dados experimentais das cinéticas de extração dos compostos fenólicos totais da casca da manga ‘Palmer’ encontram-se descritos na Tabela 4.13, bem como o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e qui-quadrado ( $\chi^2$ ), obtidos para os diferentes solventes utilizados (etanol, água, água adicionando celulase e água adicionando pectinases e etanol 50%, mistura de metanol: água: ácido acético (Barcia).

**Tabela 4.13.** Ajuste do modelo de Peleg, para curva de crescimento, aos dados experimentais da extração assistida dos compostos fenólicos totais da casca da manga ‘Palmer’ para os solventes etanol, água, água e celulase, água e pectinase, Barcia e etanol 50%.

T (°C)	Peleg		$R^2$	$\chi^2$
	Parâmetros			
	a	b		
Etanol	0,00291	0,00010	0,9959	249330
Água	0,00044	0,00007	0,9852	2108600
Água e Celulase	0,00108	0,00007	0,9816	2636600
Água e Pectinase	0,00024	0,00008	0,8572	17789000
Barcia	0,00058	0,00004	0,9836	6567000
Etanol 50 %	0,00091	0,00004	0,8857	53241000

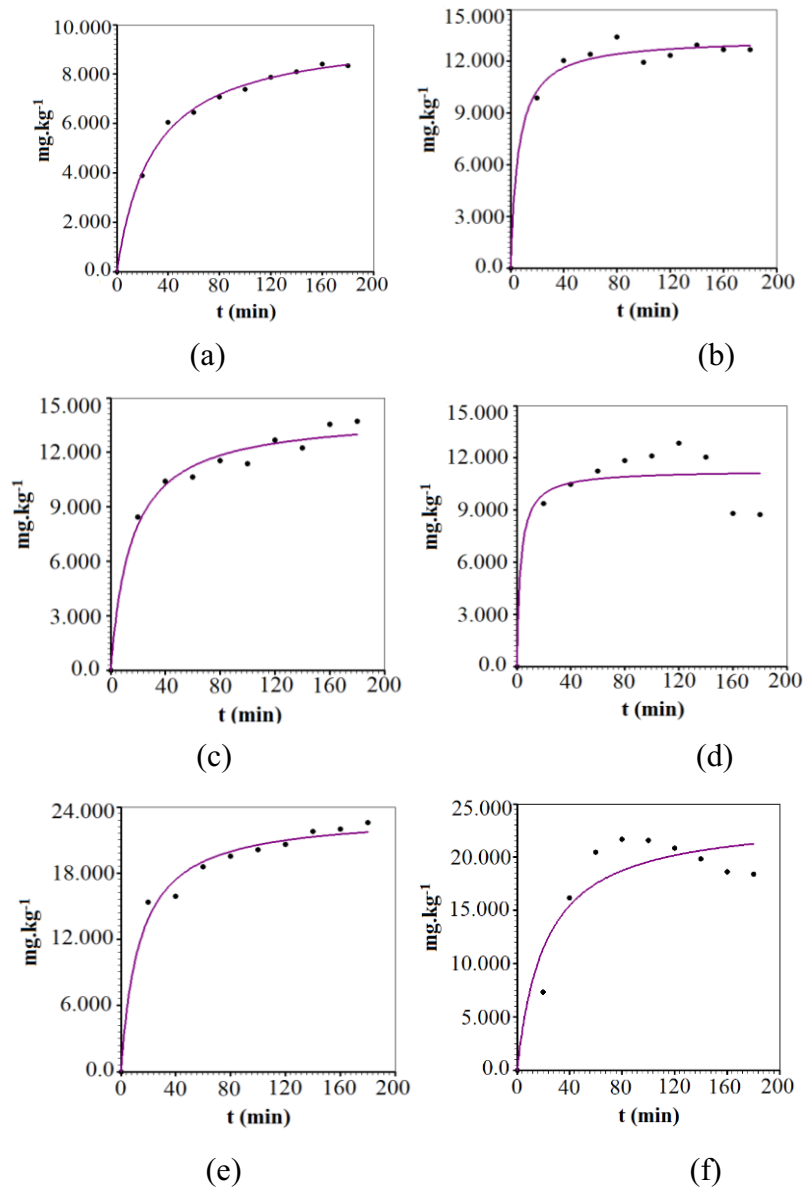
**Fonte:** Autor (2021).



#### 4.10.1 Cinética de extração

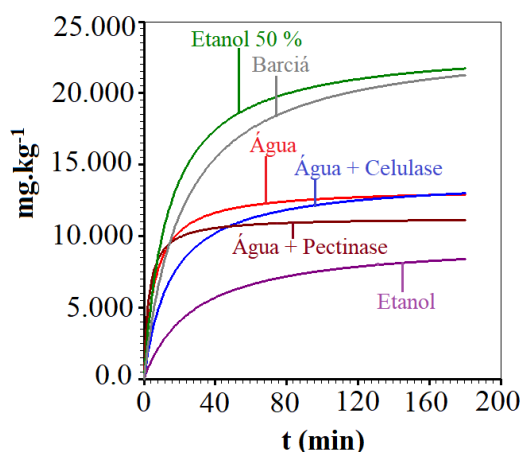
Os resultados obtidos para as cinéticas de extração e a superposição das cinéticas de extração realizada na casca da manga ‘Palmer’, verificadas por meio do modelo de Peleg para os solventes utilizados, podem ser observados nas Figura 4.7 e 4.8.

**Figura 4.7** Cinéticas de extração da casca da manga ‘Palmer’ determinadas através do modelo de Peleg para os solventes (a) etanol, (b) água, (c) água e celulase, (d) água e pectinase, (e) barçia e (f) etanol 50%.



Fonte: Autor (2021).

**Figura 4.8** Superposição das cinéticas de extração da casca da manga ‘Palmer’ determinadas através do modelo de Peleg para os solventes etanol, água, água e celulase, água e pectinase, barcia e etanol 50%.



**Fonte:** Autor (2021).

Os dados experimentais encontrados a partir dos parâmetros de ajuste do modelo de Peleg, para curva de crescimento (Eq. 4.3) aos dados experimentais da extração assistida da casca da manga ‘Palmer’ demonstram um comportamento diferenciado para o parâmetro ‘a’ para cada solvente utilizado, sendo maior valor de a para o solvente água adicionada de celulase e menor valor de a para água (Tabela 4.13). Para o parâmetro ‘b’, observa-se que os comportamentos padrão para os solventes água e água e celulase, bem como para barcia e etanol 50%, conforme observado nas cinéticas de extração (Figura 4.8).

Os resultados obtidos para o modelo de Peleg, para curva de crescimento, demonstram que os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) apresentaram valores razoáveis para a maioria dos solventes utilizados, porém sendo considerado um modelo inconsistente para algumas extrações realizadas, esse tipo de comportamento pode ser explicado devido a não linearidade que ocorreu durante a cinética das extrações assistidas, podendo ser comprovado pelas curvas de secagem obtidas para esse modelo (Figura 4.7).

Os valores elevados de qui-quadrados ( $\chi^2$ ), serve para avaliar quantitativamente a relação entre os dados experimentais e a distribuição esperada, isso justifica os valores elevados encontrados no presente estudo, tendo em vista que foram obtidas altas concentrações para o conteúdo bioativo total.

Para otimização do procedimento de extração foi avaliado a influência do tipo de solvente e do tempo sobre a concentração de compostos fenólicos para as amostras do pó da casca da manga ‘Palmer’. As curvas das cinéticas de extração assistida permitiram observar que utilizando o etanol 50% foram possíveis obter elevadas concentrações de compostos fenólicos durante um tempo (80 min) relativamente inferior aos demais solventes, corroborando com o resultado obtido por Coelho, E. et al. (2019), no estudo com licor da casca de manga (‘Haden’ e ‘Tommy Atkins’), os quais observaram uma maior concentração desses compostos utilizando esse solvente.

#### 4.11 Compostos Bioativos e atividade antioxidante pó microencapsulado da casca da manga ‘Palmer’ submetido à secagem convectiva a 60 °C (MS) e liofilização (ML).

A partir dos resultados parciais do presente estudo foi possível verificar o potencial da casca da manga ‘Palmer’ como fonte de compostos bioativos e atividade antioxidante expressiva, evidenciando a possibilidade da sua utilização como aditivos e suplementos ou incorporados na formulação de alimentos.

Os resultados obtidos para atividade antioxidante e conteúdo de fenólicos totais para o pó microencapsulado da casca da manga ‘Palmer’ submetido à secagem convectiva a 60 °C (MS) e liofilização (ML) podem ser observados na Tabela 4.14.

**Tabela 4.14** Atividade Antioxidante Total (AOX) do pó microencapsulado da casca da manga ‘Palmer’ submetido à secagem convectiva a 60 °C (MS) e liofilização (ML), segundo métodos de Captura do Radical Livre - DPPH, Captura do Radical Livre – ABTS, Redução do Ferro – FRAP e Conteúdo bioativo total (Fenólicos Totais - FT).

Atividade Antioxidante	Amostras	
	MS	ML
DPPH	227,81 ± 0,63 a	133,24 ± 0,27 b
ABTS	363,785 ± 0,41 a	197,801 ± 0,39 b
FRAP	633,74 ± 0,21 a	397,239 ± 0,54 b
FT <sup>ψ</sup>	25634,98 ± 0,32 a	21047,68 ± 0,36 b

AOX ABTS/DPPH- Atividade antioxidante expressa como equivalente ao Trolox em mM Kg<sup>-1</sup> (mM TEAC kg<sup>-1</sup>). FRAP- poder antioxidante de redução de ferro expresso em milimols de Fe<sup>2+</sup> (mM Fe<sup>2+</sup> Kg<sup>-1</sup>). <sup>ψ</sup>Fenólicos Totais medidos com Folin-Ciocalteu expresso como mg Kg<sup>-1</sup> equivalente ao ácido gálico.

Médias seguidas da mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**Fonte:** Autor (2021).

É notório que as amostras analisadas apresentaram diferença significativa entre si, sendo as maiores concentrações observadas para as amostras MS para todos os parâmetros avaliados. O conteúdo bioativo total (fenólicos totais - FT) foram significativamente superior ao encontrado por outros autores que avaliaram o teor de fenólicos totais em farinhas obtidas de casca de manga (2.489 mg/ 100 g) (ARAÚJO et al., 2009) e extrato obtido do farelo da casca e da semente de manga (5.800 mg/ 100 g) quantificados por Vieira et al. (2009).

Dorta et al. (2011) analisaram os efeitos do método de secagem na extração de compostos bioativos de casca de manga desidratada a partir da liofilização, secagem em forno a 70 °C com ar estático ou ar forçado e casca de manga *in natura*. A análise do teor de fenólicos totais da casca não seca obteve um extrato com 7,7 Ácidos Gálicos Equivalentes por 100 g de resíduo em base seca (GAEs), obtendo um resultado semelhante à casca liofilizada 9,2 GAEs, a casca seca com ar estático 8,5 GAEs e casca seca com ar forçado 7,9 GAEs.

#### 4.12 Perfil de compostos fenólicos por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE)

Os resultados obtidos para a análise do perfil de compostos fenólicos ( $\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ) da casca da manga 'Palmer' *in natura* (IN), secagem convectiva a 60 °C (S), liofilização (L), e microencapsulada secagem convectiva a 60 °C (MS) e liofilização (ML) estão apresentados na Tabela 4.15.

**Tabela 4.15.** Perfil de compostos fenólicos (g.100 g<sup>-1</sup>) da casca da manga ‘Palmer’ *in natura* (IN), secagem convectiva a 60 °C (S), liofilização (L), e microencapsulada secagem convectiva a 60 °C (MS) e liofilização (ML).

AMOSTRAS	IN	S	L	MS	ML
<b>Flavanóis</b>					
(+) -Catequina	28,83±0,60 b	157,84±0,88 a	145,53±0,52 a	6,60±0,20 c	5,72±0,04 c
(-) -Epicatequina	1,25±0,40 b	5,02±0,26 a	1,67±0,42 b	0,59±0,01 d	5,15±0,22 a
(-) -Epicatequina galato	4,94±0,40 c	25,46±0,53 a	22,46±0,93 b	4,56±0,22 c	5,69±0,30 c
(-) -Epigallocatequina galato	2,91±0,30 d	54,20±0,70 a	34,51±0,86 b	35,31±0,10 b	15,99±0,52 c
Procianidina A2	ND	35,12±0,49 a	29,47±0,47 b	18,77±0,23 c	16,71±0,37 d
Procianidina B1	6,10±0,20c	24,14±0,21 b	29,55±0,65 a	6,59±0,30 c	3,53±0,40 d
Procianidina B2	7,71±0,30 e	75,04±0,55 b	47,32±1,02 c	87,07±0,21 a	39,74±1,62 d
<b>Flavonóis</b>					
Kaempferol-3-glicosídeo	0,74±0,25 c	1,13±0,16 c	0,85±0,15 c	5,29±0,30 a	3,04±0,21 b
Rutina	9,27±0,34 e	87,67±0,31 a	57,86±0,31 b	57,94±0,55 b	29,07±0,51 d
Quercetina 3-glicosídeo	21,32±0,26 d	198,92±0,65 a	126,45±0,55 b	94,31±0,60 c	61,41±1,23 d
<b>Estilbenos</b>					
Cis-Resveratrol	24,56±0,25 c	175,04±0,46 a	96,36±0,60 b	3,68±0,16 d	2,99±0,20 d
trans-Resveratrol	3,79±0,27 e	33,06±0,29 a	21,01±0,90 b	16,48±0,88 c	10,80±0,30 d
<b>Ácidos fenólicos</b>					
Ácido caftarico	6,85±0,55 c	24,48±1,02 a	21,88±1,02 b	4,39±0,10 d	4,91±0,20 d
Ácido caféico	ND	ND	ND	0,65±0,11 a	1,26±0,25 a
Ácido <i>p</i> -Cumárico	ND	2,85±0,80 a	1,57 ±0,35 b	ND	ND
Ácido siringico	1,11±0,10 d	6,70±0,22 c	ND	39,87±0,31 a	22,98±0,16 b
Ácido clorogênico	ND	ND	ND	3,09±0,30 a	2,63±0,35 b
<b>Flavanonas</b>					
Hesperidina	95,71±1,84 e	879, 65±0,40 a	487,38±0,2 b	240,24±1,76 c	144,13±0,53 d
Naringenina	ND	18,17±0,37 a	6,59±0,30c	8,0±0,18 b	6,44±0,25c
<b>Antocianinas</b>					
Malvidina 3,5-diglicosídeo	ND	118,90±0,59 a	123,84±0,73 a	ND	ND
Pelargonidina-3-glicosídeo	11,54±0,50 c	65,73±1,61 b	93,06±0,35 a	ND	ND
Delfinidina 3-glicosídeo	ND	ND	ND	1,95±0,15 a	1,62±0,25 a
<b>TFQ por HPLC</b>	226,60±0,42 e	1.989,1±0,88 a	1.347,3±0,35 b	633,32±0,95 c	383,81±0,37 d

Médias seguidas da mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Nota: Os resultados são expressos como média ± desvio padrão (n = 3). ND - Não detectado.

(TFQ) Total de fenólicos Quantificados por HPLC.

Fonte: Autor (2021).

#### 4.12.1 Flavanóis

Os resultados obtidos para a casca da manga ‘Palmer’ *in natura* (IN), submetida aos processos de secagem convectiva a 60 °C (S), liofilização (L), e microencapsulamento do pó por secagem convectiva a 60 °C (MS) e liofilização (ML), indicaram que as cascas S e L foram as que apresentaram maiores valores para somas de flavanóis quantificados por CLAE, nos quais valores variaram de 310,51 a 376,82 g.100mg<sup>-1</sup>, respectivamente. Em estudo realizado por López-Cobo et al. (2017), obteve valores de catequina de 11,1, 6,4 e 27,9 mg (100g)<sup>-1</sup> em extrato seco de "Keitt", "Osteen" e "Sensación" variedades de manga, respectivamente.

O principal flavanol quantificado foi a catequina, sendo o pó obtido da secagem convectiva a 60 °C o que apresentou maior concentração (157,84 mg (100g)<sup>-1</sup>), seguido do pó obtido por liofilização (145,53 mg (100g)<sup>-1</sup>). O segundo principal flavanol quantificado foi a procianidina B2, obtendo-se valores superiores para o microencapsulado obtido do pó da casca da manga ‘Palmer’ liofilizada (ML), com concentração de 87,07 mg (100g)<sup>-1</sup>. Foram quantificados também: epicatequina (0,59-5,15), epicatequina galato (4,56-25,46), epigallocatequina galato (2,91-54,20), procianidina A2 (16,71 a 35,12) e procianidina B1 (3,53-29,55).

O perfil de compostos fenólicos demonstraram que houve diferença significativa entre as cascas de manga ‘Palmer’ submetidas a diferentes técnicas de secagem, destacando-se amostras obtidas por secagem convectiva a 60 °C (S) e liofilização (L). Indicando um comportamento diferenciado para cada tratamento de secagem realizado em relação aos compostos identificados. Segundo Nicolosi et al. (2018), compostos fenólicos apresentam níveis de sensibilidade perante algumas variáveis, como a luz, a oxidação e o calor (NICOLOSI et al., 2018).

#### 4.12.2 Flavonóis e estilbenos (resveratrol)

Para quantificação dos flavonóis foi possível verificar que houve diferença significativa entre as amostras IN, S, L, MS e ML. Na Tabela 4.17 destacou-se com maiores concentrações de flavonóis as amostras S com valor de soma para os flavonóis de 287,72 mg (100g)<sup>-1</sup>, tendo a quercetina 3-glicosídeo como composto majoritário (198,92 mg (100g)<sup>-1</sup>), seguido da rutina e o Kaempferol-3-glicosídeo, o mesmo comportamento foi observado para todas as amostras. A quercetina 3-glicosídeo foi predominante para todas as amostras analisadas, com valores variando de 21,32 a 198,92 mg (100g)<sup>-1</sup>.

Meneses et al. (2015) em estudo realizado com extratos etanólicos de resíduos industriais do processamento de mangas Tommy Atkins e Haden, identificaram como compostos principais, em valores aproximados: quercetina 3-galactosídeo ( $11.000 \mu\text{gkg}^{-1}$ ) e kaempferol 3-glucosídeo ( $100 \mu\text{g kg}^{-1}$ ). Com base nos valores de quercetina 3-glicosídeo e kaempferol mencionados por Meneses et al. (2015) e nos valores obtidos para esses compostos no presente estudo, indicam que o processo de secagem realizado foi um processo tecnológico adequado para preservação de flavonóis de cascas de manga.

Foram quantificados o cis-resveratrol e trans-resveratrol em todas as amostras analisadas com variação de 24,56 a 175,04 mg ( $100\text{g}^{-1}$ ) e 3,79 a 33,06 mg ( $100\text{g}^{-1}$ ) para cis-resveratrol e trans-resveratrol, respectivamente. Os maiores valores para soma desses compostos foram obtidos para as amostras S ( $208,10 \text{ mg } (100\text{g})^{-1}$ ) e L ( $117,37 \text{ mg } (100\text{g})^{-1}$ ).

#### 4.12.3 Ácidos fenólicos

Para os ácidos fenólicos pode-se observar pelos resultados encontrados na Tabela 4.17 que alguns ácidos não foram identificados para algumas amostras, demonstrando que as diferentes técnicas de secagem proporcionaram comportamento diferenciado na presença desses compostos. O ácido predominante foi ácido siríngico sendo encontradas concentrações com variação de 1,11 a 39,87 mg ( $100\text{g}^{-1}$ ), as amostras MS apresentaram maior somatório para os ácidos fenólicos quantificados ( $48,0 \text{ mg } (100\text{g})^{-1}$ ).

#### 4.12.4 Flavanonas

Dentre os fitoquímicos quantificados por CLAE, as flavanonas foram os principais compostos encontrados na casca da manga 'Palmer', com destaque para a hesperidina ( $879,65 \text{ mg } (100\text{g})^{-1}$ ), e para as amostras submetidas à secagem convectiva a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  (S) sendo as que apresentaram maiores valores para ambas as flavanonas identificadas hesperidina e narigenina, com somatório de  $897,17 \text{ mg } (100\text{g})^{-1}$ . Não sendo identificada a narigenina para as amostras de casca da manga 'Palmer' *in natura*.

#### 4.12.5 Antocianinas

A Tabela 4.15 apresenta as antocianinas identificadas no presente estudo, pode-se observar que não houve um comportamento similar entre as amostras analisadas, as amostras submetidas proporcionaram maiores valores  $118,90 \text{ mg } (100\text{g})^{-1}$  (S), para

malvidina 3,5-diglicosídeo e 93,06 mg (100g)<sup>-1</sup> (L), para pelargonidina-3-glicosídeo. É notório ainda que essas antocianinas não foram quantificadas para os pós microencapsulados obtidos por secagem convectiva a 60 °C (MS) e liofilização (ML), no entanto, as mesmas foram as únicas que apresentaram Delfinidina 3-glicosídeo nas concentrações de 1,95 e 1,62 mg (100g)<sup>-1</sup>, respectivamente.

Os compostos fenólicos como os flavonoides (antocianinas, flavanóis e flavonóis) e os estilbenos (resveratrol), são um grupo de substâncias que juntamente com as suas propriedades, principalmente o reverastrol, proporcionam o status de alimentos funcionais para as matérias-primas que os apresentam, devido as suas funções antioxidantes e cardioprotetores (MOREIRA et al., 2017).

A análise do perfil de compostos fenólicos possibilitou verificar que o processamento das cascas da manga ‘Palmer’ submetidas a diferentes técnicas de secagem apresentou comportamento diferenciados entre os grupos de compostos quantificados em relação as técnicas de secagem aos quais foram submetidos. O total de fenólicos quantificados (TFQ) evidenciou que as amostras S e L apresentaram o maior conteúdo de compostos fenólicos, com valores de 1989,10 e 1347,30 mg (100g)<sup>-1</sup>, respectivamente.

#### 4.13 Avaliação dos parâmetros de cor e textura das formulações dos pães.

A partir dos resultados parciais do presente estudo, foi possível verificar o potencial da casca da manga ‘Palmer’ como fonte de compostos bioativos e atividade antioxidante expressiva, evidenciando a possibilidade da sua utilização como aditivos e suplementos ou incorporados na formulação de alimentos, onde obteve-se melhores resultados para à secagem convectiva a 60 °C e por liofilização. Os pós obtidos desses processos foram submetidos a microencapsulação e posteriormente adicionados à formulação de um pão de forma, conforme os itens 3.13 e 3.14.

A Tabela 4.16 apresenta os resultados obtidos para parâmetros de cor e textura para as formulações padrão (P), adicionado do pó microencapsulado da casca da manga ‘Palmer’ por secagem convectiva a 60 °C (MS) e liofilização (ML). Na Figura 4.9 e 4.10, é possível verificar as diferentes formulações elaboradas.



**Figura 4.9** Formulação do pão de forma padrão (P).



**Figura 4.10.** Formulações dos pães de forma. (A) P, (B) MS, (C) ML.



**Fonte:** Autor (2021).

A Tabela 4.16 mostra os resultados obtidos para a análise textura dos pães de forma com formulação padrão (P), adicionado do pó microencapsulado da casca da manga ‘Palmer’ por secagem convectiva a 60 °C (MS) e liofilização (ML). A firmeza compreende à força necessária para comprimir o alimento entre os dentes ou entre o palato e a pinça. A energia necessária para desintegrar o alimento e torná-lo adequado para deglutir é denominado mastigação, a coesão é representada pelas forças internas dentro do alimento que mantêm a amostra coesa, evitando sua fragmentação (CRUZ et al., 2015; GUINÉ et al., 2014; GUINÉ et al., 2015).

**Tabela 4.16.** Determinação do parâmetro de firmeza e cor das três formulações do pão.

Formulações		P	MS	ML	
Parâmetros	Firmeza (N)	3,93 ± 0,06 c	6,74 ± 0,02 a	5,61 ± 0,2 b	
	L*	Externo	62,67 ± 0,25 a	50,69 ± 0,42 b	50,57 ± 0,38 b
		Interno	70,63 ± 1,27 a	44,44 ± 0,09 c	50,31 ± 0,04 b
	Cor	Externo	12,17 ± 0,19 a	11,76 ± 0,16 a	11,99 ± 0,27 a
		a*	Interno	3,74 ± 0,67 b	12,72 ± 0,35 a
	b*	Externo	41,26 ± 0,08 a	23,50 ± 0,48 b	24,59 ± 0,23 b
		Interno	29,62 ± 1,84 a	21,61 ± 0,26 b	22,79 ± 0,15 b

Médias seguidas da mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**Fonte:** Autor (2021).

Os resultados na Tabela 4.16 indicam que houve diferença significativa para as três amostras, com variação considerável sendo as firmezas obtidas para os pães de forma P, MS e ML, valores de  $3,93 \pm 0,06$  N,  $6,74 \pm 0,02$  N e  $5,61 \pm 0,2$  N, respectivamente. A textura do pão é influenciada pelas propriedades mecânicas do miolo e da crosta, que por sua vez estão associadas às características estruturais e físicas da matriz do pão. O endurecimento do pão leva à perda de resiliência do miolo, diminuição da crocância da crosta, perda de compostos de sabor voláteis e teor de amido solúvel (GAO et al., 2018; GAO et al., 2015; JOURDREN et al., 2016; PENG et al., 2017; PENTIKÄINEN et al., 2014). Dessa forma, a formulação do pão de forma adicionado do pó ML apresentou maior semelhança com a firmeza do pão padrão e menor firmeza em relação ao MS, indicando características texturais mais favoráveis, relacionadas aos elementos que compõem a sua estrutura.

A análise de cor é um parâmetro importante para avaliar a aceitabilidade dos alimentos, por ser um atributo sensorial relacionado com a aparência do produto. De acordo com os valores apresentados na Tabela 4.16, observa-se que os parâmetros de cor (L\*, a\* e b\*) apresentaram diferença significativa entre as formulações dos pães, tanto em relação a cor da parte externa, quanto a parte interna. Sendo possível verificar uma

homogeneidade na cor dos pães adicionados dos pós microencapsulados por secagem convectiva a 60 °C e liofilização, por apresentarem resultados similares.

Para a variável de luminosidade ( $L^*$ ) houve uma redução nos valores obtidos para as formulações ML e MS, indicando uma tendência ao preto, apresentando um escurecimento na cor dos pães (Figura X). Esse fato pode estar relacionado à adição do encapsulante utilizado para obtenção dos pós microencapsulados, tendo em vista que durante o processo de obtenção dos pães ocorre o escurecimento da massa devido à reação de Maillard, que acontece durante o aquecimento (BASTOS et al., 2011; BRIÃO et al., 2011; FENNEMA, 2010; MEHTA; DEETH, 2016), sendo a P a mais luminosa (mais clara).

Quanto ao parâmetro  $a^*$  não houve diferença significativa para parte externa entre as formulações (P, MS e ML), podendo ser observado uma redução nos valores para parte interna na formulação padrão, indicando uma tendência à coloração verde. As formulações MS e ML apresentaram uniformidade na cor da parte externa e interna para esse parâmetro apresentando valores maiores de  $a^*$  em relação a formulação padrão, indicando uma tendência à coloração vermelha. O parâmetro  $b^*$  pode-se observar que apresentou menores valores para as formulações ML e MS em comparação com a formulação P, verificando que houve uma tendência desta coordenada para a coloração amarela.

#### 4.14 Atividade antioxidante e conteúdo bioativo total das formulações dos pães.

Na Tabela 4.17 encontram-se os resultados obtidos para a análise da atividade antioxidante e fenólicos totais dos pães de forma com formulação padrão (P), adicionado do pó microencapsulado da casca da manga ‘Palmer’ por secagem convectiva a 60 °C (MS) e liofilização (ML).

**Tabela 4.17.** Atividade antioxidante e fenólicos totais das formulações dos pães.

FORMULAÇÕES	PARÂMETROS			
	$\Psi_{FT}$	ABTS	DPPH	FRAP
P	473,73 ± 0,09 c	2,24 ± 0,42 c	0,51 ± 0,37 c	20,24 ± 0,60 c
MS	652,12 ± 0,09 a	7,96 ± 1,57 a	3,17 ± 0,09 a	27,13 ± 0,59 a
ML	545,09 ± 0,07 b	4,23 ± 0,11 b	1,59 ± 0,20 b	22,63 ± 0,34 b

Médias seguidas da mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**Fonte:** Autor (2021).

Conforme a Tabela 4.17, é possível verificar que a adição dos pós MS e ML influenciaram significativamente no aumento da concentração dos compostos bioativos totais e atividade antioxidante dos pães, sendo encontrados valores de  $473,73 \pm 0,09$ ,  $652,12 \pm 0,09$  e  $545,09 \pm 0,07$  mg Kg<sup>-1</sup> de ácido gálico equivalente, para as formulações P, MS e ML, respectivamente. Destacando-se os pães com adição do pó microencapsulado obtido da secagem convectiva a 60 °C (MS).

Para o ensaio ABTS das diferentes formulações de pães obteve-se valores de  $2,24 \pm 0,42$ ,  $7,96 \pm 1,57$  e  $4,23 \pm 0,11$  mM Trolox.Kg<sup>-1</sup> para as formulações P, MS e M, respectivamente. Destacando-se as formulações adicionadas dos pós microencapsulado da casca da manga ‘Palmer’ MS e ML, sendo obtida atividade antioxidante superior para o pó MS. O mesmo comportamento foi observado para o ensaio de DPPH, tendo como resultados  $0,51 \pm 0,37$  (P),  $3,17 \pm 0,09$  (MS) e  $1,59 \pm 0,20$  (ML) mM Trolox.Kg<sup>-1</sup>.

Sabe-se que em relação às frutas cítricas, os métodos FRAP e ABTS são usualmente utilizados para avaliar a atividade antioxidante *in vitro*, indicando a associação de mais de um método (ZOU et al. 2016). Para o método de FRAP houve diferença significativa entre as diferentes formulações de pães P ( $20,24 \pm 0,60$  mM Fe<sup>2+</sup>.Kg<sup>-1</sup>), MS ( $17,13 \pm 0,59$  mM Fe<sup>2+</sup> Kg<sup>-1</sup>) e ML ( $22,63 \pm 0,34$  mM Fe<sup>2+</sup> Kg<sup>-1</sup>), no qual a formulação MS proporcionou uma maior atividade antioxidante em comparação às demais formulações.

Segundo Láscares et al. (2020), a capacidade antioxidante está diretamente relacionada ao teor de compostos fenólicos totais, corroborando com os resultados obtidos no presente estudo. As concentrações identificadas nesse trabalho foram significativas entre as formulações de pães, sendo observado que a adição dos pós microencapsulados promoveu um aumento na concentração dos compostos bioativos totais e atividade antioxidante. Tendo em vista os resultados positivos para as formulações MS e ML, pode-se verificar que a utilização do pó microencapsulado da casca da manga ‘Palmer’ pode ser explorada para uso em diferentes produtos alimentares.

## 5. CONCLUSÕES

- A casca da manga ‘Palmer’ apresenta potencial funcional, como fonte de compostos bioativos e atividade antioxidante evidenciando a possibilidade da sua utilização como aditivos e suplementos ou incorporados na formulação de alimentos.
- O modelo de Page é considerado como o mais adequado para representar o fenômeno investigado no presente estudo, sendo o modelo de difusão com solução analítica e condição de contorno do terceiro tipo que demonstrou bom ajuste aos dados experimentais obtidos.
- A distribuição de umidade no interior da casca da manga ‘Palmer’ em um dado instante foi praticamente uniforme, no qual o modelo de difusão não foi adequado a um teor de umidade inicial elevado, praticamente não ocorrendo gradientes de umidade.
- As melhores condições para secagem da casca da manga ‘Palmer’ foram obtidas para à secagem convectiva a 60 °C e liofilização, proporcionando a obtenção de um pó com potencial funcional, como fonte de compostos bioativos e atividade antioxidante.
- O pó da casca da manga ‘Palmer’ submetido à técnica de secagem por liofilização apresenta resultados satisfatórios em relação ao conteúdo de minerais.
- O teste toxicológico realizado evidencia a não toxicidade do pó da casca da manga ‘Palmer’.
- Os dados experimentais encontrados a partir dos parâmetros de ajuste do modelo de Peleg, para curva de crescimento aos dados experimentais da extração assistida da casca da manga ‘Palmer’, demonstram um comportamento diferenciado para o parâmetro para cada solvente utilizado.
- As curvas das cinéticas de extração assistida permitem observar que utilizando o etanol 50% é possível obter elevadas concentrações de compostos fenólicos durante um tempo (80 min) relativamente inferior aos demais solventes.
- O perfil de compostos fenólicos possibilita verificar que o processamento das cascas da manga ‘Palmer’ submetidas a diferentes técnicas de secagem apresenta comportamento diferenciado entre os grupos de compostos quantificados em relação as técnicas de secagem aos quais foram submetidos.
- O total de fenólicos quantificados (TFQ) evidencia que as amostras S e L apresentam o maior conteúdo de compostos fenólicos, com valores de 1989,10 e 1347,30 mg (100g)<sup>-1</sup>, respectivamente.

- Os pães de forma apresentam uma homogeneidade na cor dos pães adicionados dos pós microencapsulados por secagem convectiva a 60 °C e liofilização, apresentando resultados similares.
- A formulação do pão de forma adicionado do pó microencapsulado liofilizado (ML) apresenta maior semelhança com a firmeza do pão padrão (P), indicando características texturais mais favoráveis.
- Os pães com adição do pó microencapsulado obtido da secagem convectiva a 60 °C (MS) destacam-se com maiores concentrações de compostos bioativos totais e atividade antioxidante.
- A adição dos pós microencapsulados por secagem convectiva a 60 °C (MS) e liofilização (ML) influenciam significativamente no aumento da concentração dos compostos bioativos totais e atividade antioxidante dos pães de forma.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAFRUTAS - Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados. Dados estatísticos. Dados de exportação do 1º semestre de 2020. Disponível em: <<https://abrafrutas.org/2020/09/23/dados-de-exportacao-do-1a-semester-de-2020>>. Acesso em: 11 de jan. de 2021.

ABUD, A. K. S.; SANTOS, M. N.; SILVA, R. P. **Obtenção da farinha da semente da jaca: estudo de sua viabilidade em substituição à farinha de trigo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 13, Salvador. Anais... Jaboticabal: SBF. v. 3, p. 1069-1069, 1994.

AGRIANUAL: **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: IEG /FNP Agribusiness intelligence, 2019.

AJILA, C. M.; AALAMI, M.; LEELAVATHI, K.; PRASADA RAO, U. J. S. Mango peelpowder: A potential source of antioxidant and dietary fiber in macaroni preparations. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.11, p.219–224, 2011.

AJILA, C. M.; NAIDU, K. A.; BHAT, S. G.; PRASADA RAO, U. J. S. Bioactive compounds and antioxidant potential of mango peel extract. **Food Chemistry**, v.105, p. 982–988, 2007.

ALMEIDA, G.V.B. **Comercialização de mangas no mercado nacional**. In: III Simpósio de Manga, Juazeiro: FENAGRI, 2009. Palestra. Disponível em: <<http://www.cpatsa.embrapa.br/imprensa/palestras/simposio-de-manga/Gabriel.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2012.

ALVES, R. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de; SILVA, W. P. da; GOMES, J. P. Solar drying of cowpea bean combined with drying in a heat accumulator dryer. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, n.9, p.709–715, 2019.

ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v.66, n.1, p.232-240, 2007.

ABF- ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, 2018 / Benno Bernardo Kist... [et al.]. – Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, p.88: il. 2018. Disponível em: Acesso em: maio de 2019.

ABHF - ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI E FRUTI, 2019. **CEPEA, Piracicaba, São Paulo**. Disponível em: <<http://www.editoragazeta.com.br/produto/anuario-brasileiro-de-horti-fruti-2019/>>. Acesso em: 21/12/2020.

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 18 ed., Gaithersburg, Maryland, 2005.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. Washington, 316 p., 2001.

ARAÚJO, C. R.; MELO, E. A.; LIMA, G. V. L. A.; MACIEL, M. I. S. **Resíduo agroindustrial de três variedades de mangas: Teor de fito químicos e ação antioxidante**. In: IX - Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão - JEPEX, 9, Recife. Anais, UFRPE. p.42, 2009.

AROGBA, S. S. Effect of temperature on the moisture sorption isotherm of a biscuit containing processed mango (*Mangifera indica*) kernel flour. **Journal of Food Engineering**, v. 48, p. 121 – 125, 2001.

BABU, A. K.; KUMARESAN, G.; RAJ, A. A. V.; VELRAJ, R. Review of leaf drying: Mechanism and influencing parameters, drying methods, nutrient preservation, and mathematical models. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 90, p. 536–556, 2018.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; VEGA-MERCADO, H. **Dehydration of foods**. Chapman & Hall, New York, 1996.

BARCIA, M. T., PERTUZATTI, P. B., GÓMEZ-ALONSO, S., GODOY, H. T.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I. Phenolic composition of grape and winemaking by-products of Brazilian hybrid cultivars BRS Violeta and BRS Lorena. **Food Chemistry**, 159, 95–105, 2014.



BASTOS, D. H. M.; SHIBAO, J.; FERREIRA, E. L.; BOMBO, Á. J. Produtos da reação de Maillard em alimentos industrializados. **Nutrire**, v. 36, n. 3, p. 63-78, 2011.

BATISTA, A. M.; SILVA, E. M.; SILVA, E. I. G.; MESSIAS, C. M. B de O. Consumo alimentar de magnésio, potássio e fósforo por adolescentes de uma escola pública. **Saúde e Pesquisa** . ISSN 2176-9206, v. 9, n. 1, p. 73-82, 2016.

BORGES, A. M.; PEREIRA, J.; LUCENA, E. M. P. Caracterização da farinha de banana verde. **Ciências e Tecnologia dos Alimentos**, v.29, n.2, p.333-339, 2008.

BORGES, S.V.; MANCINI, M. C.; CORREA, J. L. G.; LEITE, J. Secagem de bananas prata e d'água por convecção forçada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, n.3, p.605-612, 2010.

BRASIL. Decreto nº 12.486, de 20 de outubro de 1978. **Normas técnicas especiais relativas a alimentos e bebidas**. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, p. 20, 21 out. 1978.

BRASIL. Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos**. 2005.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Quantidade de mangas produzidas por região, 2013**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=t&c=1613>>. Acesso em 10 outubro 2018.

BRIÃO, V. B.; BARBOSA, B. V.; FOLLMER, L.; de SOUZA, M.; RODRIGUES, V. M. Cinética do escurecimento não-enzimático com soluções modelo de açúcares e aminoácidos em pH neutro e ácido. **Acta Scientiarum Technology**, v. 33, n. 1, p. 87-93, 2011.

BRIZOLA, R.; BAMPI, G. B. Desenvolvimento de barras alimentícias com adição de farinha de banana verde. **Unoesc & Ciência - ACBS**, Joaçaba, v. 5, n. 1, p. 63-68, jan./jun. 2014.

BURIN, V. M.; ROSSA, P. N.; FERREIRA-LIMA, N. E.; HILLMANN, M. C. R. & BOIRDIGNONLUIZ, M. T. Anthocyanins: Optimisation of extraction from Cabernet

Sauvignon grapes, microcapsulation and stability in soft drink. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, p. 186–193, 2011.

BURIN, V. M., N. E. FERREIRA-LIMA, C. P. PANCERI, M. T. Bordignon-luiz. Bioactive compounds and antioxidant activity of *Vitis vinifera* and *Vitis labrusca* grapes: Evaluation of different extraction methods. **Microchemical Journal**. v. 114:155–163.

CAMARA, F. M. **Aspectos qualitativos da manga ‘Palmer’ comercializada na CEAGESP**. 155 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade de São Paulo, 2017.

CAMARGO FILHO, W. P.; ALVES, H.S.; MAZZEI, A.R. Mercado de manga no Brasil: contexto mundial, variedades e estacionalidade. **Informações Econômicas**, v. 34, n. 5, p. 60-68.

CAMPOS, M. M. **Análise da escoabilidade de pós**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, 2012.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, C. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 6, n. 4, p. 420-428, 2005.

CARNEIRO, E. F. S.; SILVA, R. M.; SILVA, S. N.; LIMA, T. L. B.; QUEIROZ, A. J. de M. Propriedades físicas de farinha mista de frutas. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. Maceió - AL, **Anais**, 2018.

CARVALHO, C. R. L.; ROSSETTO, C. J.; MANTOVANI, D. M. B.; MORGANO, M. A; CASTRO, J. V. D.; BORTOLETTO, N. Avaliação de cultivares de mangueira selecionadas pelo Instituto Agrônomo de Campinas comparadas a outras de importância comercial. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 2, p. 264-271, 2004.

CARVALHO, A. V.; CAVALCANTE, M. A.; SANTANA, C. L.; ALVES, R. M. Características físicas, químicas e atividade antioxidante de frutos de matrizes de cajazeira no estado do Pará. **Alimentos e Nutrição**, v. 22, n.1, p. 45-53, 2011.

CASSINI, A. S.; MARCZAK, L. D. F.; NOREÑA, C. P. Z. Water desorption isotherms of texturized soy protein. **Journal of Food Engineering**, v. 77, p. 194-199, 2006.

CEBALLOS, A. M.; GIRALDO, G. I.; ORREGO, C. E. Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried sour sop fruit pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 2, p. 360-365, 2012.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de Alimentos**. 2. ed. Campinas: Unicamp, 2003. 207p.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos** - Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, p. 33-46, 2010.

COELHO, B. E. S.; NASCIMENTO, M.M.; CARVALHO, I.R.B.; SOUSA, K. DOS S.M.; MACHADO, N.S.; FIGUEIREDO NETO, A. Curva de secagem solar e avaliação físico-química da manga 'Espada'. **Journal of Environmental Analysis and Progress**. v. 4, n. 3, p. 187-194, 2019.

COELHO, E. M. ; SOUZA, M. E. A. O. ; CORREA, L. C. ; VIANA, A. C. ; AZEVEDO, L. C. ; LIMA, M. S. Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Mango Peel Liqueurs (*Mangifera indica* L.) Produced by Different Methods of Maceration. **Antioxidants**, v. 8, p. 102, 2019.

CORDEIRO, E. M. S. **Biocompósitos poliméricos obtidos a partir da fração lignocelulósica amilácea do caroço de manga (*Mangifera indica*), Tommy atkins**. 87f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais. Natal-RN. 2013.

CORRÊA, J. L. G.; RASIA, M. C.; GARCIA-PEREZ, J. V.; MULET, A.; JUNQUEIRA, J. R. J.; CÁRCEL, J. A. Use of ultrasound in the distilled water pretreatment and convective drying of pineapple. **Drying and Energy Technologies**, v. 3, n. 1, p. 71-88, 2016.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A. P., GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M. **Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas**. Engenharia Agrícola, v. 27, n. 2, p. 501-507, 2007.

CORRÊA, P. C.; MACHADO, P. F.; ANDRADE, E. T. de. Cinética de secagem e

qualidade de grãos de milho-pipoca. **Revista Ciências e Agrotecnologia**, v. 25, n. 1, p. 134-142, 2001.

COSTA, J. G.; SANTOS, C. A. F. **Cultivo da mangueira**. Embrapa Semiárido.2004. Disponível em:<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Manga/CultivodaMangueira/cultivares.htm#tommy>>. Acesso em: 19 jul 2020.

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

COSTA, L. O. **Obtenção de polpa de manga em pó pelo processo de liofilização**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

COUTO, M. A. L.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Quantificação de vitamina C e capacidade antioxidante de variedades cítricas. **Ciência e Tecnologia em Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 15-19, 2010.

CRUZ, A. C., GUINÉ, R. P. F., & GONÇALVES, J. C. Drying kinetics and product quality for convective drying of apples (cv. Golden Delicious and Granny Smith). **International Journal of Fruit Science**, v. 15, n. 1, p. 54-78, 2015.

DANTAS, D.; PASQUALI, M. A.; MATA, M. C.; DUARTE, M. E.; LISBOA, H. M. Influence of spray drying conditions on the properties of avocado powder drink. **Food Chemistry**, p. 284–291, 2018.

DE OLIVEIRA, A.R et al. **Cultivo da mangueira: mercado**. Embrapa Semiárido, versão eletrônica. 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/884451/1/CultivodaMangueira.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2020.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. Microscopia eletrônica de varredura: Aplicações e preparações de amostras. Porto Alegre, **EDIPUCRS**, 2007.

DEGHANNYA, J.; GORBANI, R.; GHANBARZADEH, B. Shrinkage of mirabelle plum during hot air drying as influenced by ultrasound-assisted osmotic dehydration. **International Journal of Food Properties**, v.19, n.5, p.1093-1103, 2016.

DEMBITSKY, V. M.; POOVARODOM, S.; LEONTOWICZ, H.; LEONTOWICZ, M.; VEARASILP, S.; TRAKTENBERG, S.; GORINSTEIN, S. The multiple nutrition properties of some exotic fruits: biological activity and active metabolites. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1671-1701, 2011.

DEMIRAY, E.; TULEK, Y. Degradation kinetics of  $\beta$ -carotene in carrot slices during convective drying. **International Journal of Food Properties**, v. 20, n. 1, p. 151-156, 2017.

DEMIRAY, E.; TULEK, Y. Thin-layer drying of tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill. cv. Rio Grande) slices in a convective hot air dryer. **Heat and Mass Transfer**, v. 48, n. 5, p. 841-847, 2012.

DESAI, K. G. H.; PARK, H. J. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. **Drying Technology**, v. 23, n. 7, p. 1361- 1394, 2005.

DIAMANTE, L. M.; IHNS, R.; SAVAGE, G. P.; VANHANEN, L. A new mathematical model for thin layer drying of fruits. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 45, n. 9, p. 1956–1962, 2010.

DIONELLO, R. G.; BERBERT, P. A.; MOLINA, M. A. B.; PEREIRA, R. C.; VIANA, A. P.; CARLESSO, V. O. Assessment of convective drying models for fresh and osmo-dehydrated pineapple rings. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 1, p. 232-240, 2009.

DORTA, E.; LOBO, M. G.; GONZÁLEZ, M. Using drying treatments to stabilize mango peel and seed: Effect on antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 45, n. 2, p. 261-268, 2011.

DOYMAZ, I. Air-drying characteristics of tomatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 4, p. 1291-1297, 2007.

DOYMAZ, I. Drying behaviour of green beans. **Journal of Food Engineering**, v. 69, n. 2, p. 161-165, 2005a.

DOYMAZ, I. Drying characteristics and kinetics of okra. **Journal of Food Engineering**, v. 69, n. 3, p. 275-279, 2005b.

DURIGON, A.; MAZUTTI, M. A.; MOSSI, A. J.; TREICHEL, H. Effects of temperature on both drying kinetics and color of Italian tomato. **Biochemistry and Biotechnology Reports**, v.2, n.1, p. 1-12, 2013.

DUTRA, M. C. P.; RODRIGUES, L. L.; PEREIRA, G. E.; LIMA, M. S. Integrated analyses of phenolic compounds and minerals of Brazilian organic and conventional grape juices and wines: Validation of a method for determination of Cu, Fe and Mn. **Food Chemistry**, v. 269, p. 157-165, 2018.

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

EL-DASH, A.; GERMANI, R. **Tecnologia de farinhas mistas: uso de farinha mista de trigo e milho na produção de pães**. EMBRAPA, Brasília, 1994.

ELIAS, N. de F.; BERBERT, P. A.; MOLINA, M. A. B. de; VIANA, A. P.; DIONELLO, R. G.; QUEIROZ, V. A. V. Avaliação nutricional e sensorial de caqui cv Fuyu submetido à desidratação osmótica e secagem por convecção. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 322-328. 2008.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Ciência que transforma**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/grandes-contribuicoes-para-a-agricultura-brasileira/frutas-e-hortalicas>>. Acesso em: 12 Jul 2020.

ESTEVINHO, B. N.; ROCHA, F.; SANTOS, L.; ALVES, A. Microencapsulation with chitosan by spray drying for industry applications: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 31, n. 2, p. 138-155, 2013.

ESTRADA-REYES, R.; UBALDO-SUÁREZ, D.; ARAUJO-ESCALONA, A. G. Los flavonoides y el sistema nervioso central. **Salud Mental**, v. 35, p. 375-384, 2012.

FANG, Z.; BHANDARI, B. Encapsulation of polyphenols - a review. **Food Science & Technology**. v. 21, p. 510-523, 2010.

FAO- Food and Agriculture Organization 2017. Disponível em:

<http://www.fao.org/news/archive/news-bydate/2017/pt/>. Acesso em: 9 fev. 2020.

FAO– Food and Agriculture Organizational. The future of food and agriculture - Alternative pathways to 2050. Summary version. Rome, 2018. P. 60. ISBN 9789251309896. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/CA1553EN/ca1553en.pdf>>.

FAO – Food and Agriculture Organizational 2015. Disponível em:<<http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>>. Acesso em: 26 Jul 2018.

FAO – Food and Agriculture Organizational 2013 – World Food and Agriculture. 2013. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e03.pdf>. Acesso em 18 de novembro de 2018.

FEITOSA, R. M.; SILVA, R. C.; MELO, J. C. S.; LINS, A. D. F.; PÊ, P. R.; OLIVEIRA, S. N. Cinética de congelamento e difusividade térmica efetiva do feijão fava. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 38, n. 3, p. 147-152, 2017.

FENNEMA, O. R.; SRINIVASAN D.; KIRK, L. P. **Química de alimentos de fennema**. Porto Alegre: Artmed, 900p. 2010.

FONSECA, A., A. O.; JESUS, R. S.; CARNEIRO, C. N.; HANSEN, D. S.; SILVA, S. M. P. C.; VALENTIM, S. S. Aspectos biométricos e químicos dos frutos da manga (*Mangifera indica* l.) variedade “Carlota”. **Diversitas Journal**. v. 6, n. 2, p. 1853-1870, 2021.

FONTELES, T. V.; LEITE, A. K. F.; SILVA, A. R. A.; CARNEIRO, A. P. G.; MIGUEL, E. C.; CAVADA, B. S.; FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S. Ultrasound processing to enhance drying of cashew apple bagasse puree: Influence on antioxidant properties and in vitro bioaccessibility of bioactive compounds. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 31, p. 237-249, 2016.

FRANÇA, F. A. **Caracterização nutricional e avaliação do potencial antioxidante de farinhas obtidas de resíduos de frutas**. 70f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) -Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Campus Juvino Oliveira, Itapetininga, Bahia, Brasil, 2014.

FRANÇA, L. F.; MONTEIRO, R. B. B.; VASCONCELOS, M. A. M.; CORRÊA, N. C. F. **Tecnologia de produção de açaí em pó e desengordurado**. In: PESSOA, J. D. C.

TEIXEIRA, G. H. A. Tecnologias para inovação nas cadeias euterpe. Brasília, Embrapa, p.196, 2012.

FREIRE, V. A. P. **Viabilidade de culturas probióticas de *Lactobacillus* spp. e *Bifidobacterium* spp. em iogurte adicionado de polpa e farinha do albedo de maracujá (*Passiflora edulis*).** 146 f. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial). Universidade Federal de Pelotas, 2012.

GAO, J.; TAY, S. L.; KOH, A. H.-S.; ZHOU, W. Dough and bread making from high- and low-protein flours by vacuum mixing: Part 3. Oral processing of bread. **Journal of Cereal Science**, v. 79, p. 408-417, 2018.

GAO, J.; WONG, J. X.; LIM, J. C.-S.; HENRY, J.; ZHOU, W. Influence of bread structure on human oral processing. **Journal of Food Engineering**, v. 167, p. 147-155., 2015.

GAO, X.; WANG, J.; WANG, S.; LI, Z. Modelling of drying kinetics of green peas by reaction engineering approach. **Drying Technology**, v. 34, n. 4, p. 437-442, 2016.

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

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. A new technique for spray drying orange juice concentrate. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 11, p. 342-351, 2010.

GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. A. C.; FARIAS, E. S.; SILVA, M. M.; CHAVES, M. C. V.; REIS, L. S. Determinação das curvas de secagem em frutos de cajá. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. especial, n. 1, p. 65-68, 2003.

GUINÉ, R. P. F.; ALMEIDA, I. C.; CORREIA, A. C.; GONÇALVES, F. J. Evaluation of the physical, chemical and sensory properties of raisins produced from grapes of the cultivar Crimson. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 9, n. 3, p. 337-346, 2015.

GUINÉ, R. P. F.; HENRIQUES, F.; BARROCA, M. J. Influence of drying treatments on the physical and chemical properties of cucumber. **Journal of Food Measurement and**



**Characterization**, v. 8, n. 3, p. 195-206, 2014.

HAQUE, M. A.; ADHIKARI, B.; PUTRANTO, A. Predictions of drying kinetics of aqueous droplets containing WPI-lactose and WPI-trehalose by application of composite reaction engineering approach (REA). **Journal of Food Engineering**, v. 189, n. 1, p. 29-36, 2016.

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

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

HEREDIA, A.; BARRERA, C.; ANDRÉS, A. Drying of cherry tomato by a combination of different dehydration techniques. Comparasion of kinetics and others related properties. **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 1, p. 111-118, 2007.

HF BRASIL. MANGA/CEPEA: **Exportação elevada aos EUA favorece recuperação da cv. Tommy Atkins**. 2017. Disponível em: < <http://www.hfbrasil.org.br/br/manga-cepea-exportacao-elevada-aos-eua-favorece-recuperacao-da-tommy.aspx>> Acesso em 13 de out. de 2018.

HIATT, A. N.; TAYLOR, L. S.; MAUER, L. J. Influence of simultaneous variations in temperature and relative humidity on chemical stability of two vitamin C forms and implications for shelf life models. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, p. 3532-3540, 2010.

HOSSAIN, M. A.; RAHMAN, S.M.M. Total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of tropical fruit pineapple. **Food Research International**, v. 44, n. 3, p. 672–676, 2011.

HUBER, K.; QUEIROZ, J. H. de; MOREIRA, A. V. B.; RIBEIRO, S. M. R. Caracterização química do resíduo agroindustrial da manga ubá (*Mangifera indica* L.): uma perspectiva para a obtenção de antioxidantes naturais. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 6, n. 1, p. 640-654, 2012.

IAL - Instituto Adolfo Lutz. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos**. 4. ed. São Paulo: IAL, 1020 p., 2008.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de dados agregados. SIDRA: Sistema IBGE de recuperação automática. **Levantamento sistemático da produção agrícola municipal, 2018**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

IBRAF – Instituto Brasileiro de Frutas, 2014. **Estatísticas**. Disponível em: <[http://www.ibraf.org.br/estatisticas/est\\_frutas.asp](http://www.ibraf.org.br/estatisticas/est_frutas.asp)>. Acesso em: 10 ago. 2018.

JOURDREN, S.; PANOUILLÉ, M.; SAINT-EVE, A.; DÉLÉRIS, I.; FOREST, D.; LEJEUNE, P.; SOUCHON, I. Breakdown pathways during oral processing of different breads: impact of crumb and crust structures. **Food & Function**, v. 7, n. 3, p. 1446-1457, 2016.

JUHÁSZ, M.; KITAHARA, Y.; FUJII, T. Thermal decomposition of vitamin C: An evolved gas analysis ion attachment mass spectrometry study. **Food Chemistry**, v. 129, p. 546–550, 2011.

JULIANO, F. F.; SILVA, P. P. M.; CASEMIRO, R. C.; COSTA, M. H.; SPOTO, M. H. F. Polpa de camu-camu liofilizada e armazenada em diferentes embalagens. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 8, n. 2, p. 1374-1384, 2014.

KALEEMULLAH, S.; KAILAPPAN, R. Modelling of thin-layer drying kinetics of red chillies. **Journal of Food Engineering**, v. 76, p. 531-537, 2006.

KALETA, A.; GÓRNICKI, K. Evaluation of drying models of apple (var. McIntosh) dried in a convective dryer. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 45, n. 5, p. 891–898, 2010.

KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L.G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 98-108, 2007.

KAYA, A.; AYDIN, O.; DINCER, I. Experimental and numerical investigation of heat and mass transfer during drying of Hayward kiwi fruits (*Actinidia Deliciosa* Planch). **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 3, p. 323–330, 2008.

KAYACIER, A.; SINGH, R. K. Application of effective diffusivity approach for the moisture content prediction of tortilla chips during baking. **Swiss Society of Food Science and Technology**, v. 37, n. 2, p. 275-281, 2004.

KIM, Y K.; GUO, Q.; PACKER, L. Free radical scavenging activity of red ginseng aqueous extracts. **Toxicology**, v. 172, p. 149-156, 2002.

KOBORI, C. N.; JORGE, N. Caracterização dos óleos de algumas sementes de frutas como aproveitamento de resíduos industriais. **Ciência e Agroecologia**, v. 29, n. 5, p. 1008-1014, 2005.

LANFER-MARQUEZ, U. M. O papel da clorofila na alimentação humana: uma revisão. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 39, n. 3, p.227- 246, 2003.

LARRAURI, J.A.; RUPÉREZ, P.; BORROTO, B.; SAURA-CALIXTO, F. Mango Peels as a New Tropical Fibre: Preparation and Characterization. **LWT - Food Science and Technology**, v. 29, n. 8, p. 729-733, 1996.

LÁSCARIS, M. P. S.; LEITE, J. V.; NUNES, T. P.; MOREIRA, J. J. S.; BRITO, B. S. N.; PAGANI, A. A. C.; ABUD, A. K. S; OLIVEIRA JUNIOR, A. M. de. Extração, caracterização, atividade antioxidante e antimicrobiana de resíduos de manga (Tommy Atkins). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, e3519108696, 2020.

LAUFENBERG, G.; KUNZ, B.; NYSTROEM, M. Transformation of vegetable waste into value added products: (a) the upgrading concept; (b) practical implementations. **Bioresource Technology**, v. 87, p. 167-198, 2003.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, v. 148, p. 350-382, 1987.

LIMA, A.; SILVA, A. M. O.; TRINDADE, R. A.; TORRES, R, P.; FILHO, J. M. Composição química e compostos bioativos presentes na polpa e na amêndoa do pequi (Caryocar brasiliense, Camb.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 3, p. 695-698, 2007.

LIMA, J. R. F. de; ALMEIDA, G. V. B. de; PEREIRA, A. F. C.; ARAÚJO JÚNIOR, J. N. de. Análise do mercado de manga produzida no Vale do São Francisco: cenário atual e perspectivas para o curto prazo. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia,

Administração e Sociologia Rural do Regional Nordeste, 13., 2018, Juazeiro, BA. Novas dinâmicas de desenvolvimento do Semiárido: **Anais**. Juazeiro: UNIVASF: SOBER- -NE, 2018. Disponível em: Acesso em: 2 jun. 2020.

LOBATO, J. C. M. **Caracterização das propriedades de fluxo da lama vermelha para fins de dimensionamento de silos - aplicação para tremonhas cônicas**. Dissertação. Belém: Universidade Federal do Pará, 2013.

LÓPEZ-COBO, A.; VERARDO, V.; DIAZ-DE-CERIO, E.; SEGURA-CARRETERO, A.; FERNÁNDEZ-GUTIÉRREZ, A.; GÓMEZ-CARAVACA, A.M. Use of HPLC- and GC-QTOF to determine hydrophilic and lipophilic phenols in mango fruit (*Mangifera indica* L.) and its by-products. **Food Research International**, v. 100, p. 423–434, 2017.

LOUSADA JÚNIOR, J. E.; COSTA, J. M. C.; NEIVA, J. N. M.; RODRIGUEZ, N. M. Caracterização físico-química de subprodutos obtidos do processamento de frutas tropicais visando seu aproveitamento na alimentação animal. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 37, n. 1, p. 70 -76, 2006.

LUIKOV, A. V. **Analytical heat diffusion theory**, Academic Press, Inc. Ltd, London, 1968.

MACAGNAN, F. T.; MOURA, F. A.; SANTOS, L. R.; BIZZANI, M.; SILVA, L. P. Caracterização nutricional e resposta sensorial de pães de mel com alto teor de fibra alimentar elaborados com farinhas de subprodutos do processamento de frutas. **Boletim do CEPPA**, v. 32, n. 2, p. 201-210, 2014.

MACHADO, A.M.; SOUZA, M.C.; JUNQUEIRA, M.S.; SARAIVA, S.H.; TEIXEIRA, L.J.Q. Cinéticas de secagem do abacaxi cv. Pérola. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, v. 8, n. 15; p. 428-437, 2012.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. The thin-layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, v. 29, p. 75-97, 2007.

MADUREIRA, I. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. M.; SILVA FILHO, E. D. Cinética de secagem da polpa do figo-da-india. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 13, n. Especial, p. 345-354, 2011.

MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Uma década de bons frutos. **Informativo CGPCP Fruticultura**, v. 5, n. 46, p. 1-7, 2011.

MARQUES, A.; CHICAYBAM, G.; ARAUJO, M. T.; MANHÃES, L. R. T.; SABAASRUR, A. U. O. Composição centesimal e de cinerais de casca e polpa de manga (*Mangifera indica* L.) cv. Tommy Atkins. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 4, p. 1206-1210, Jaboticabal - SP, 2010.

MARQUES, T. R. **Aproveitamento tecnológico de resíduos de acerola: farinhas e barras de cereais**. 2013. 101f. Tese de Doutorado. Agroquímica, Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2013.

MARTINAZZO A. P.; MELO E. C.; CORRÊA P. C.; SANTOS R. H. S. Modelagem matemática e parâmetros qualitativos da secagem de folhas de capim-limão [*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf]. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 12, n. 4, p. 488-498, 2010.

MARTINAZZO, A. P., CORRÊA, P. C., RESENDE, O., MELO, E. C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 301-306, 2007.

MARTINS, T. S. **Produção de coproduto de araçá (*psidium cattleianum*): características da farinha e sua aplicação como novo ingrediente na indústria de panificação**. (Trabalho de Conclusão). UFBP - João Pessoa, 2019.

MATIAS, M. F. O.; OLIVEIRA, E. L.; MARGALHÃES, M. M. A.; GERTRUDES, E. Use of fibers obtained from the cashew (*Anacardium occidentale*, L) and guava (*Psidium guayava*) fruits for enrichment of food products. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 48, n. especial, p. 143-150, 2005.

MATOS, A. T. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos**. Viçosa, Minas Gerais: Ed. UFV, 2014.

MATOS, A. P. **Manga: Produção: aspectos técnicos**. Brasília: Embrapa - Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. 63p.

MEGALE, J. **Influência do estágio de maturação e da condição de armazenagem em parâmetros sensoriais, químicos e microbiológicos de manga, cultivar Palmer**,

**semiprocessada**. 2002. 98 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002.

MEHTA, B. M.; DEETH, H. C. Blocked lysine in dairy products: formation, occurrence, analysis, and nutritional implications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 15, n. 1, p. 206-218, 2016.

MELO, E. A e ARAÚJO, C. R. Mangas das variedades espada, rosa e tommy atkins: compostos bioativos e potencial antioxidante. **Revista Semina**, v. 32, n. 4, p. 1451-1460, 2011.

MENDES FILHO, N. E., CARVALHO, M. P.; OUZA, J. M. T. Determinação de macrocomponentes e nutrientes minerais da polpa de manga (*Mangifera indica* L.). **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia**, v. 6, n. 1-2, p. 22, 2014.

MENDES, M. L. M.; BORA, P. S.; RIBEIRO, A. P. L. Propriedades morfológicas e funcionais e outras características da pasta do amido nativo e oxidado da amêndoa do caroço de manga. (*Mangifera indica* L.), variedade Tommy Atkins. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 71, n. 1, p. 76-84, 2012.

MENESES, M.A.; CAPUTO, G.; SCOGNAMIGLIO, M.; REVERCHON, E.; ADAMI, R. Antioxidant phenolic compounds recovery from *Mangifera indica* L. by-products by supercritical antisolvent extraction. **Journal of Food Engineering**, v. 163, p. 43–53. 2015.

MENEZES, A. R. V.; SILVA JÚNIOR, A.; CRUZ, H. L. L.; ARAÚJO, D. R.; SAMPAIO, D. D. Estudo comparativo do pó da acerola verde (*Malpighia emarginata* D.C) obtido em estufa por circulação de ar e por liofilização. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 1, p. 1-8, 2009.

MEYER, B. N.; FERRIGNI, N. R.; PUTNAN, J. E.; JACOBSEN, L. B.; NICHOLS, D. E.; MCL. AUGHLIN, J. Brine shrimp: A convenient general bioassay for active plant constituents. **Journal of Medical Plant Research**, v. 45, n. 1, p. 31-34, 1982.

MODESTO J. H.; LEONEL S.; SEGANTINI D. M.; SOUZA J. M. A.; FERRAZ R. A. **Qualitative attributes of some mango cultivars fruits. Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 4, p. 565–570, 2016.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 4, p. 513-518, 2005.

MORAES, L. R. V.; AZEVÊDO, L. C.; SANTOS, V. M. L.; LEITÃO, T. J. V. Estudo comparativo da desidratação de frutas para fins de infusão, por método tradicional e liofilização. **Revista Semiárido De Visu**, v.2, n.2, p.254-264, 2012.

MOREIRA, I. S. **Kiwi em fatias: Cinética de secagem, composição físico-química, compostos bioativos e elaboração de produtos alimentares**. 155 f. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB. 2018a.

MOREIRA, I. DOS S.; SILVA, W. P. da ; CASTRO, D. S. de ; SILVA, L. M. de M.; GOMES, J. P.; SILVA, C. M. D. P. S. e . Production of kiwi snack slice with different thickness: Drying kinetics, sensory and physicochemical analysis. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, p. 778-787, 2018b.

MOREIRA, G. C. R. C.; ASSIS, C. F. de; BOTELHO, R. V.; VAZ, D. S. S.; FREIRE, P. L. I.; BENNEMANN, G. D. Conteúdo de minerais, compostos fenólicos e antocianinas em farinhas de bagaço de uva das variedades Seibel e Bordô provenientes de uma vinícola sul-paranaense. **Nutrição Brasil**, v. 16, n. 6, p. 391-397, 2017.

MORETTI, C. M.; MACHADO, C. M. M. Aproveitamento de resíduos sólidos do processamento mínimo de frutas e hortaliças.. In: Encontro Nacional sobre Processamento Mínimo de Frutas e Hortaliças, 4,. **Anais**. São Pedro, Piracicaba: USP/ESALQ, p. 25-32. 2006.

MURATORE, G.; RIZZO, V.; LICCIARDELLO, F.; MACCARONE, E. Partial dehydration of cherry tomato at different temperature, and nutritional quality of the products. **Food Chemistry**, v. 111, n. 4, p. 887-891, 2008.

NASCIMENTO FILHO, W. B.; FRANCO, C. R. Avaliação do potencial dos resíduos produzidos através do processamento agroindustrial no Brasil. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 1968-1987, 2015.

NASSARO, F.; ORLANDO, P.; FRATIANNI, F.; COPPOLA, R. Microencapsulation in food science and biotechnology. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 23, p. 182–186, 2012.

NICOLOSI, E.; FERLITO, F.; AMENTA, M.; RUSSO, T.; RAPISARDA, P. Changes in the quality and antioxidant components of minimally processed table grapes during storage. **Scientia Horticulturae**, v. 232, p. 175-183, 2018.

NGUYEN, M. H.; PRICE, W. E. Air-drying of banana: Influence of experimental parameters, slab thickness, banana maturity and harvesting season. **Journal of Food Engineering**, v.79, n.1, p.200-207, 2007.

NUNES, C. R.; BERNARDES, N. R.; GLÓRIA, L. L.; OLIVEIRA, D. B. Flavonoides em *Annonaceae*: ocorrência e propriedades biológicas. **Vértices**, v. 14, n. 1, p. 39-57, 2012.

OLIVEIRA, G. R.; SANTOS, J. T. S.; CAMPOS, A. F. P.; NUNES, T. P.; RUSSO, S. L.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. M. Prospecção tecnológica: processo de liofilização na indústria de alimentos. **Revista Geintec**, v. 3, n. 1, p. 92-102, 2012.

OLIVEIRA, G. S. **Aplicação do processo de liofilização na obtenção de cajá em pó: avaliação das características físicas, físico-químicas e higroscópicas**. 83f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2012.

PADILHA, C. V. S.; MISKINIS, G. A.; SOUZA, M. E. A. O.; PEREIRA, Giuliano E.; OLIVEIRA, D.; BORDIGNON-LUIZ, M. T.; LIMA, MARCOS DOS SANTOS. Rapid determination of flavonoids and phenolic acids in grape juices and wines by RP-HPLC/DAD: Method validation and characterization of commercial products of the new Brazilian varieties of grape. **Food Chemistry**, v. 228, p. 106-115, 2017

PAGE, G. E. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers**. 1949. Thesis (M.Sc.) – Purdue University, West Lafayette.

PEDRASSOLLI, I. M.; HOMEM JUNIOR, A. C.; PANDOLFI, M. A. C. **Aproveitamento dos resíduos de manga das agroindústrias**. In: Simpósio de Tecnologia da FATEC, 3. **Anais**, Taquaritinga, v. 3, n. 1., 2015.



PELEG, M. An empirical model for the description of moisture sorption curves. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 53, n. 4, p. 1216-1217, 1988.

PELIZER, L. H.; PONTIRRI, M. H.; MORAES, I. O. Utilização de resíduos agro-industriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental. **Journal of Technology Management & Innovation**, v. 2, n. 1, p.118-127, 2007.

PENG, B., LI, Y., DING, S., & YANG, J. (2017). Characterization of textural, rheological, thermal, microstructural, and water mobility in wheat flour dough and bread affected by trehalose. **Food Chemistry**, v. 233, n. 369-377.

PENTIKÄINEN, S.; SOZER, N.; NÄRVÄINEN, J.; YLÄTALO, S.; TEPPOLA, P., JURVELIN, J.; HOLOPAINEN-MANTILA, U.; TÖRRÖNEN, R.; AURA, A.-M.; POUTANEN, K. Effects of wheat and rye bread structure on mastication process and bolus properties. **Food Research International**. v. 66, p. 356-364.

PINTO, A. C. Q.; PINHEIRO NETO, F.; GUIMARAES, T. G. Estratégias do melhoramento genético da manga a visando atender a dinâmica de mercado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 1, p. 64-72, out. 2011.

PUTRANTO, A., CHEN, X. D. Drying of a system of multiple solvents: Modeling by the reaction engineering approach. **AIChE Journal**, v. 62, n. 6, p. 2144–2153, 2016.

PUTRANTO, A.; CHEN, X.D.; DEVAHASTIN, S.; XIAO, Z.; WEBLEY, P. A. Application of the reaction engineering approach (REA) for modeling intermittent drying under time- varying humidity and temperature. **Chemical Engineering Science**, v. 66, n. 10, p. 2149–2156, 2011.

RAMOS, S. A.; SILVA, M. R.; JACOBINO, A. R.; DAMASCENO, I. A. N.; RODRIGUES, S. M.; CARLOS, G. A.; ROCHA, V. N.; AUGUSTI, R.; MELO, J. O. F.; CAPOBIANGO, M. Caracterização físico-química, microbiológica e da atividade antioxidante de farinhas de casca e amêndoa de manga (*Mangifera indica*) e sua aplicação em brownie. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, e22310212436, 2021.

RÉ, M.; Formulating drug delivery systems by spray drying. **Drying Technology**, v. 24, n. 4, p. 433–446, 2006.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGEMNTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying and improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology Medicine**, v. 26, p. 1234-1237, 1999.

RIOS, A. O.; ANTUNES, L. M. G.; BIANCHI, M. L. P. Proteção de carotenoides contra radicais livres gerados no tratamento de câncer com cisplatina. **Revista Alimento e Nutrição**, v. 20, p. 342-350, 2009.

ROSTAGNO H. S; ALBINO L. F. T; DONZELE J. L.; GOMES P. C, OLIVEIRA R. F, LOPES D. C, FERREIRA A. S, BARRETO S. L. T, EUCLIDES R. F. **Composição de alimentos e exigências nutricionais de aves e suínos (Tabelas Brasileiras)**. 3ª ed. Viçosa: UFV – Imprensa Universitária; 2011. 252p.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; JIMÉNEZ. J. P.; CALIXTO. F. S. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-tradicional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996-1002, 2010.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; SILVEIRA, M. R. S.; MOURA, C. F.H. Quality for fresh consumption and processing of some non-tradicional tropical fruits from Brazil. **Fruits**, v. 64, p. 361-370, 2007.

RUFINO, M. D. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S. de , MORAIS, S. M. de, SAMPAIO, C. D. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA COLIXTO, F. D. Metodologia científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP). **Comunicado Técnico Embrapa**, v. 125, p. 1–4, 2006.

RYBKA, A. C. P.; LIMA, A. S.; NASSUR, R. C. M. R. Caracterização da farinha da casca de diferentes cultivares de manga. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer** , Goiânia, v. 15 n. 27; p. 12, 2018.

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

SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; BRANCO, I. G.; BITTENCOURT, T. U.; MUNHOZ, C; L; Influência da geometria e da temperatura na cinética de secagem de tomate (*Lycopersicum esculentum*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 2, p. 308- 312, 2011.

SANTANA, G. S.; OLIVEIRA FILHO, J. G. EGEEA. M. B. Características tecnológicas de farinhas vegetais comerciais. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 2, p. 88-95, 2017.

SANTOS, F. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; LIMA, T. L. B.; LIMA, A. R. C.; QUEIROZ, A. J. M. Caracterização física de farinha de amêndoas de manga. IN: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC, 2018. **Anais**. Maceió-AL, Brasil. Disponível em: <[https://www.confea.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2018/agronomia/55\\_cfdadm.pdf](https://www.confea.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2018/agronomia/55_cfdadm.pdf)>. Acesso em: 25 de maio de 2020.

SANTHALAKSHMY, S.; BOSCO, S. J. D.; FRANCIS, S.; SABEENA, M. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. **Powder Technology**, v. 274, n. 1, p. 37-43, 2015.

SANTOS, A. M.; SANTOS, A. H.; FERNANDES, A. P. S.; SOARES, D. S. B.; PINTO, E. G.; MARTINS, W. F.; LEMES, A. C. Determinação dos teores de minerais em polpa de manga (*mangifera indica* L.) de diferentes cultivares. **Brazilian Journal of Development**. v. 6, n. 9, p. 71888-71895, 2020.

SARNO, F.; CLARO, R. M.; LEVY, R. B.; BANDONI, D. H.; MONTEIRO, C. A. Estimativa de consumo de sódio pela população brasileira, 2008-2009. **Revista de Saúde Pública**, v. 47, p. 571-578, 2013.

SEAB/DERAL - Secretaria da Agricultura e do Abastecimento/ Departamento de Economia Rural do Estado do Paraná. Fruticultura: Análise da Conjuntura (Prognóstico 2020). Disponível em: <[http://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-01/fruticultura\\_2020.pdf](http://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2020-01/fruticultura_2020.pdf)>. Acesso em 11/01/2021.

SIEM - Sistema de Informações e Estatística de Mercado da Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo. São Paulo: CEAGESP, **Seção de Economia e**

**Desenvolvimento**, 2017.

SILLER-CEPEDA, J.; MUY-RANGEL, D.; BÁEZ-SAÑUDO, M.; ARAIZA LIZARDE, E.; IRETAOJEDA, A. Calidad poscosecha de cultivares de mango de maduración temprana, intermedia y tardía. **Revista Fitotecnia Mexicana**, v. 32, n. 1, p. 45–52, 2009.

SILVA, W. P. da, SILVA, C. M. D. P. S. e, CAVALCANTI, C. G. B. “LAB Fit Ajuste de Curvas”: Um software em português para tratamento de dados experimentais. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 4, p. 419-427, 2004.

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

SILVA, L. U. **Disposição final de resíduos sólidos urbanos e a responsabilidade dos geradores e do poder público**. 2015, 51f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) - Especialização em Gestão Ambiental em Municípios, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015.

SILVA, W. P., da SILVA, C. M. D. P. S., SILVA JUNIOR, A. F., QUEIROZ, A. J. M. A numerical approach to determine some properties of cylindrical pieces of bananas during drying. **International Journal of Food Engineering**, v. 11, n. 3, p. 335–347, 2015.

SILVA, S. S.; SOUZA, S. M. A. Aproveitamento da casca e polpa de Jamelão (*Syzygium Cumini* Lamarck) para produção de farinha com potencial antioxidante para uso em barra de mel contendo derivados de mandioca e cereal. In: Seminário de Iniciação Científica, 21, 2017, Feira de Santana. **Anais**. Feira de Santana–BA, 2017.

SILVA, W.P. da; FARIAS, V.S.O.; NEVES, G. A.; LIMA, A. G. B. da. Modeling of water transport in roof tiles by removal of moisture at isothermal conditions. **Heat and Mass Transfer**, v. 48, n. 5, p. 809-821, 2012.

SILVA, W. P. da ; PRECKER, J. W.; SILVA, C. M. D. P. S. e; 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. da; SILVA, C. M. D. P. S. e. **LAB Fit Curve Fitting Software, V.7.2.46** (2009a); disponível em: [www.labfit.net](http://www.labfit.net), data de acesso: 05 de novembro de 2019.

SILVA, W.P. da; SILVA, C.M.D.P.S. e; CAVALCANTI, C.G.B.; SILVA, D.P.S.; SOARES, I.B.; OLIVEIRA, J.A.S.; SILVA, C.D.P.S. “LAB Fit Ajuste de Curvas”: Um software em português para tratamento de dados experimentais. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 4, p. 419-427, 2004.

SILVA, W.P.; SILVA, C.M.D.P.S.; GAMA, F.J.A.; GOMES, J.P. Mathematical models to describe thin-layer drying and to determine drying rate of whole bananas. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 3, n. 1, p. 67-74, 2014.

SILVA, W.P.; SILVA, C.M.D.P.S.; SOUSA, J.A.R.; FARIAS, V.S.O. Empirical and diffusion models to describe water transport into chickpe (*Cicer arietinum* L.). **International Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n. 2, p. 267-273, 2013.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, p. 144- 158, 1965.

SOUSA, F. C. de; SOUSA, E. P. de; SILVA, L. M. M.; MARTINS, J. J. A.; GOMES, J. P.; ROCHA, A. P. T. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem de polpa de oiti. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 26, n. 2, p. 108-112, 2011.

SOUZA, J. L. Agricultura orgânica: tecnologias para a produção de alimentos saudáveis.

Vitória/ES: **Incaper**, 2015. 3v.; 371 p. Disponível em: <file:///C:/Users/Clecia/Downloads/BRT-livro-completo-agricultura-organica-acimar.pdf>. Acesso em: 12/10/2020.

SOUZA, R. L. A.; OLIVEIRA, L. S. C.; SILVA, F. L. H.; AMORIM, B. C. Caracterização da poligalacturonase produzida por fermentação semi-sólida utilizando-se resíduo do maracujá como substrato. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 987- 992, 2010.

SU, J. Improved lumped models for asymmetric cooling of a long slab by heat convection. **International Communications in Heat and Mass Transfer**, v. 28, n. 7, p. 973-983, 2001.

TEIXEIRA, G. H. A. Tecnologias para inovação nas cadeias euterpe. Brasília, Embrapa, 2012, p. 196.

TEIXEIRA, G. H. de A.; DURIGAN, J. F. Storage of 'Palmer' mangoes in low-oxygen atmospheres. **Fruits**, v. 66, p. 279-289, 2011.

TELES, A. S. C.; CHÁVEZ, D. W. H.; GOMES, F. S.; CABRAL, L. M. C.; TONON, R. V. Effect of temperature on the degradation of bioactive compounds of Pinot Noir grape pomace during drying. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, e2017059, 2018.

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.

TONTUL, I.; TOPUZ, A. Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties. **Trends in Food Science & Technology**, v. 63, p. 91-102, 2017.

VIEIRA P. A. F., QUEIROZ J. H., VIEIRA B. C., MENDES F. Q., BARBOSA A. A., MULLER E. S., SANTANA R. C. O, MORAES G. H. K. **Caracterização química do resíduo do processamento agroindustrial da manga (*Mangifera indica* L.) var. Ubá.** Alimentos e Nutrição, v. 20, p. 617- 623, 2009.

VIEIRA, A. P.; NICOLETI, J. F.; TELIS, V. R. N. Freeze drying of pineapple slices: evaluation of drying kinetics and product quality. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, n. 1, p. 50-58, 2012.

VILLANOVA, J. C. O.; LIMA, T. H.; PATRÍCIO, P. S.; PEREIRA, F. V.; AYRES, E. Síntese e caracterização de beads acrílicos preparados por polimerização em suspensão visando aplicação como excipiente farmacêutico para compressão direta. **Química Nova**, v. 35, n. 1, p. 124-131, 2012.

VILELA, C. A. A.; ARTUR, P. O. Secagem do açafrão (*Curcuma longa* L.) em diferentes cortes geométricos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, n.2, p. 387-394, 2008.

VIVAS, W. S. M., APONTE, A. A. A., & COCK, L.S. Ultrasonido y Deshidratación Osmótica como Pretratamientos a la Liofilización de Melón (*Cucumis melo* L.). **Información Tecnológica**, v. 30, n. 3, p. 179-188, 2019.

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

WOISKY, R.G.; SALATINO, A. Analysis of pró- polis: some parameters and procedures for chemical quality control. **Journal Apicultural Research**, v.37, n.2, p.99-105, 1998.

ZHANG, C.; LI, X.; LIU, Y. N.; ZHANG, F. Utilization of microcapsule technology in foods. **Journal of Nanoscience and Nanotechnology**, v. 15, n. 12, p. 9330-9340, 2015.

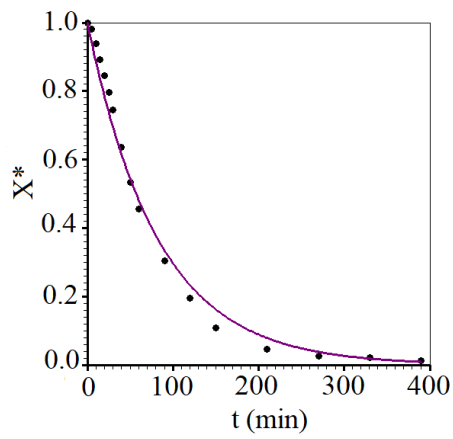
ZOU Z, XI W P, HU Y, NIE C, ZHOU Z Q. Antioxidant activity of Citrus fruits. **Food Chemistry**, v. 196, p. 885–896, 2016.

## **APÊNDICE A**

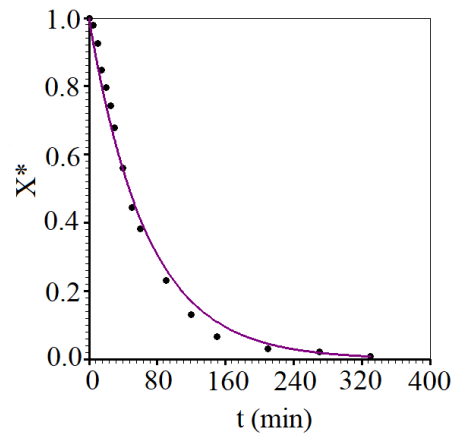
(Gráficos dos modelos de Lewis, Henderson e Pabis, Wang e Singh, Peleg, e Silva et ali ajustados aos dados experimentais da secagem da casca da manga ‘Palmer’)



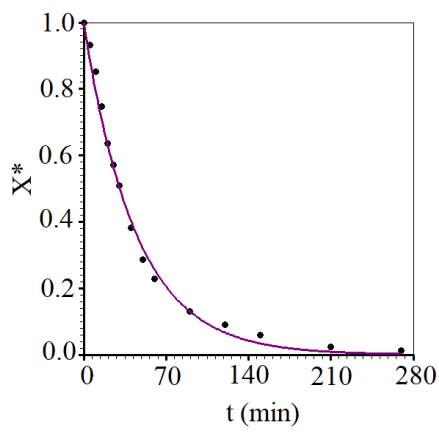
**Apêndice A.1.** Cinética de secagem da casca da manga ‘Palmer’ determinadas através do modelo de Lewis nas temperaturas de (a) 40, (b) 50, (c) 60, (d) 70 e (e) 80°C.



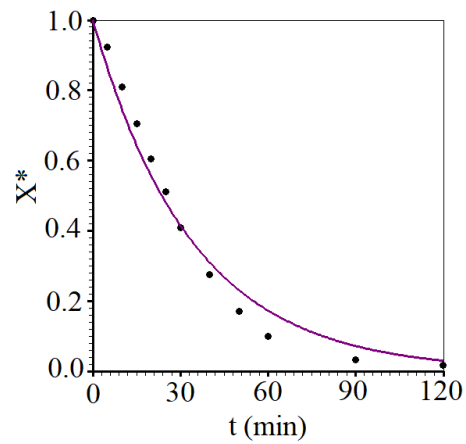
(a)



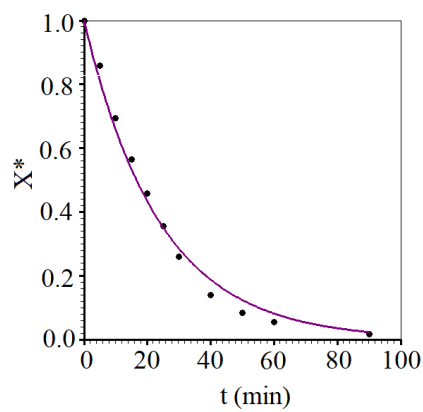
(b)



(d)



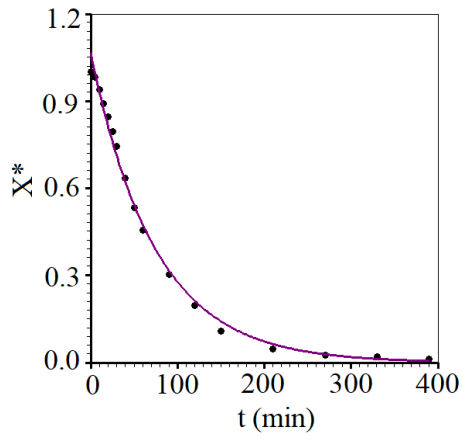
(e)



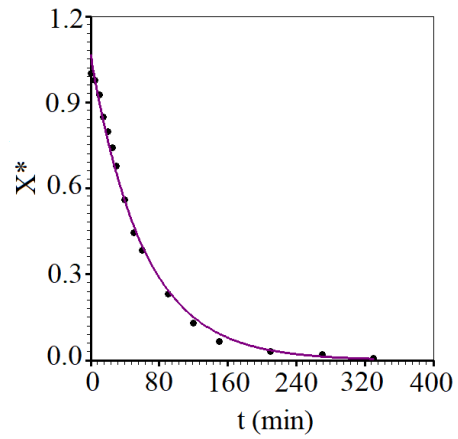
(f)

**Fonte:** Autor (2021).

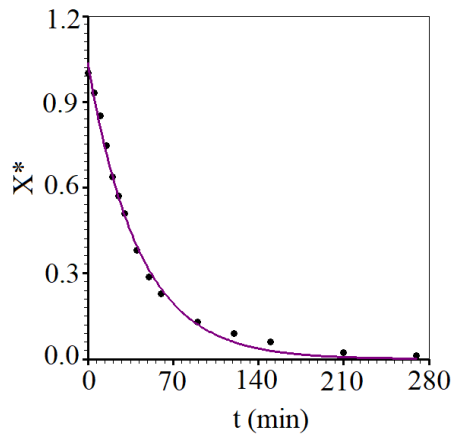
**Apêndice A.2.** Cinética de secagem da casca da manga ‘Palmer’ determinadas através do modelo de Henderson e Pabis nas temperaturas de (a) 40, (b) 50, (c) 60, (d) 70 e (e) 80°C.



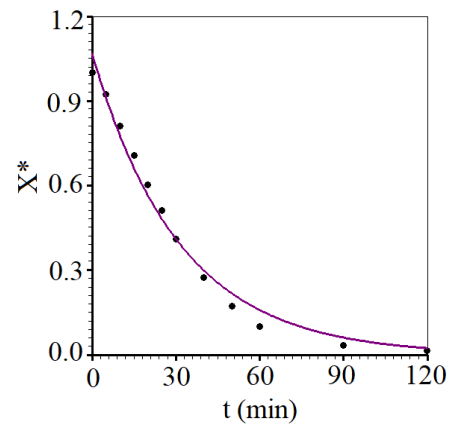
(a)



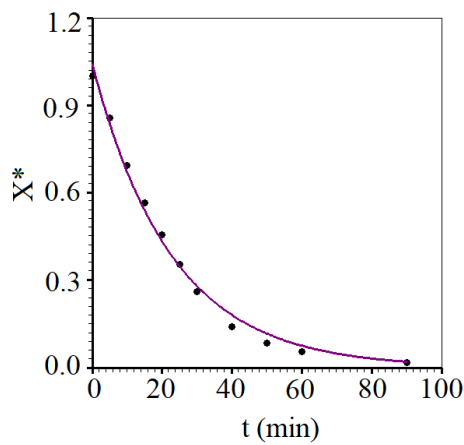
(b)



(c)



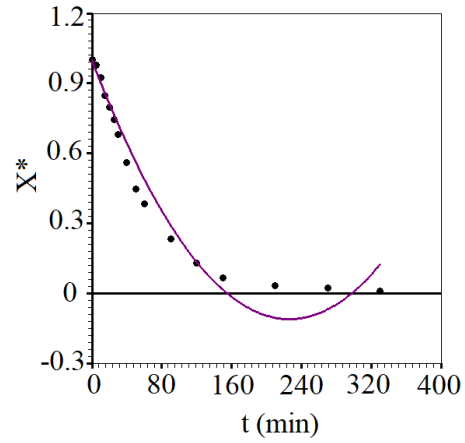
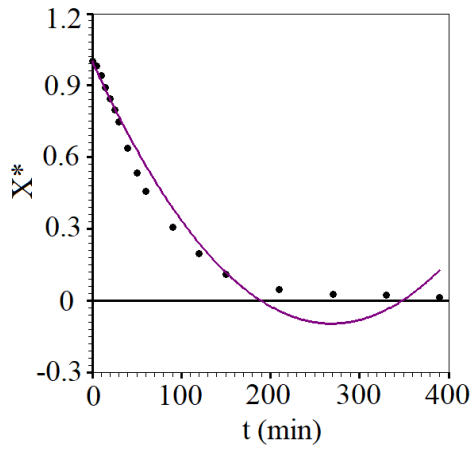
(d)



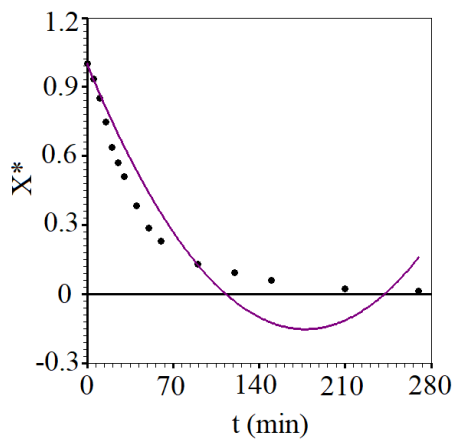
(e)

**Fonte:** Autor (2021).

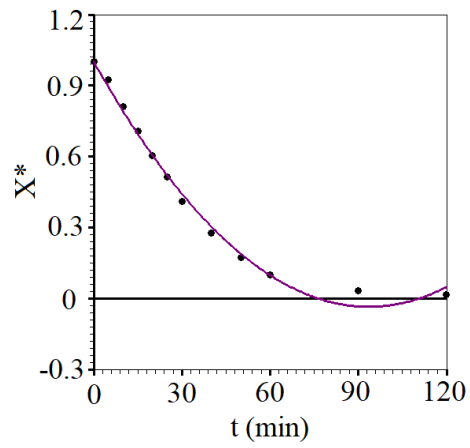
**Apêndice A.3.** Cinética de secagem da casca da manga ‘Palmer’ determinadas através do modelo de Wang e Singh nas temperaturas de (a) 40, (b) 50, (c) 60, (d) 70 e (e) 80°C.



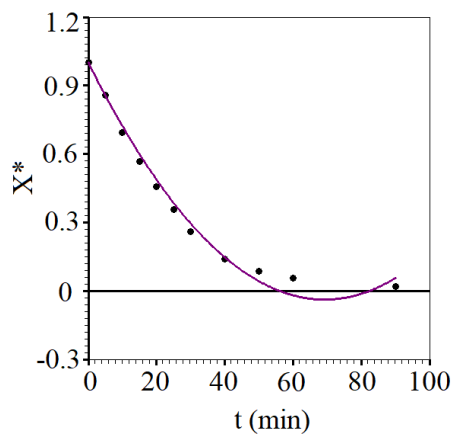
(b)



(c)



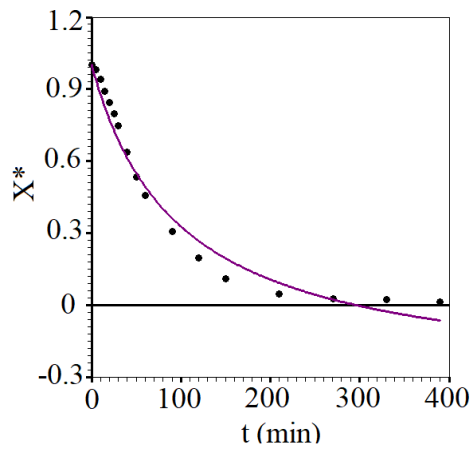
(d)



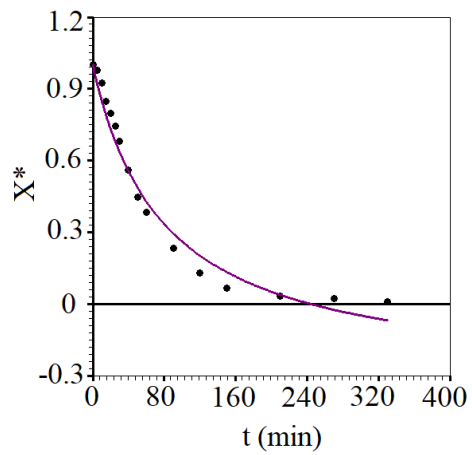
(e)

Fonte: Autor (2021).

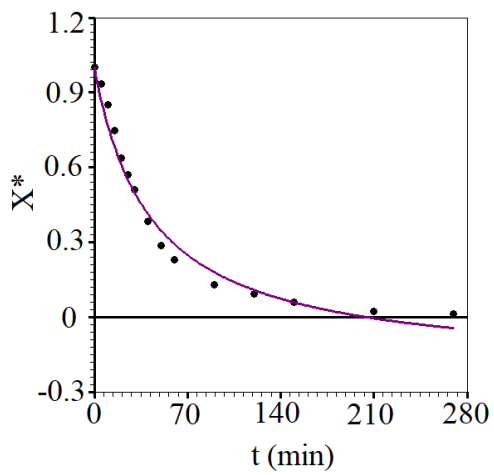
**Apêndice A.4.** Cinética de secagem da casca da manga ‘Palmer’ determinadas através do modelo de Peleg nas temperaturas de (a) 40, (b) 50, (c) 60, (d) 70 e (e) 80°C.



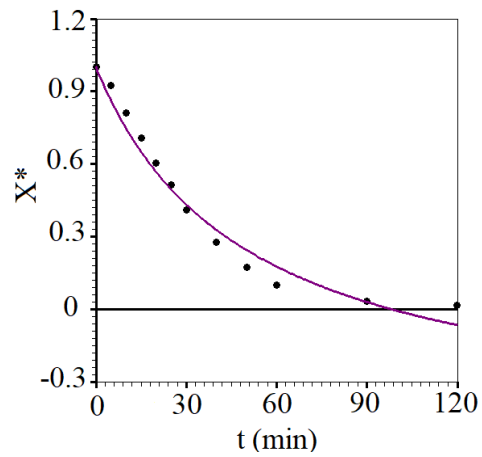
(a)



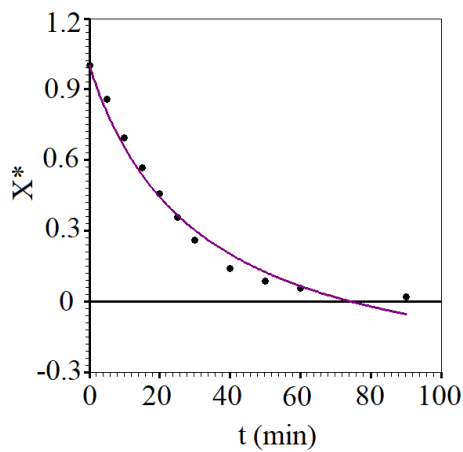
(b)



(c)



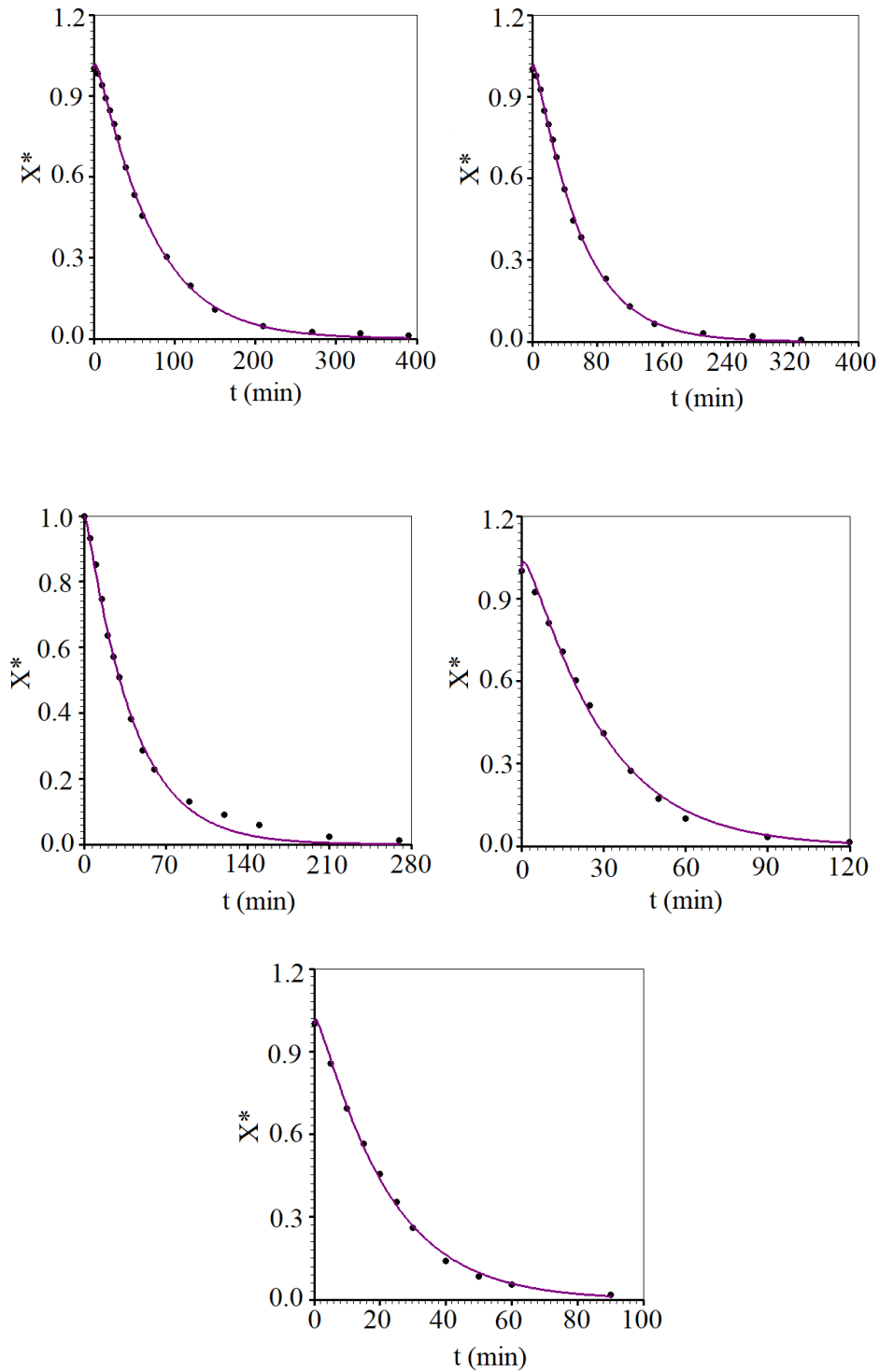
(d)



(e)

**Fonte:** Autor (2021).

**Apêndice A.5.** Cinética de secagem da casca da manga ‘Palmer’ determinadas através do modelo de Silva et alli nas temperaturas de (a) 40, (b) 50, (c) 60, (d) 70 e (e) 80°C.



**Fonte:** Autor (2021).

## **APÊNDICE B**

(Tabela Valores médios de clorofila 'a', clorofila 'b', clorofila total e carotenoides totais da casca da manga 'Palmer' in natura e utilizando diferentes técnicas de secagem)

**Apêndice B.** Valores médios de clorofila ‘a’, clorofila ‘b’, clorofila total e carotenóides totais da casca da manga ‘Palmer’ in natura e utilizando diferentes técnicas de secagem.

<b>Amostras</b>	<b>Clorofila ‘a’ (mg.100g<sup>-1</sup>)</b>	<b>Clorofila ‘b’ (mg.100g<sup>-1</sup>)</b>	<b>Clorofila total (mg.100g<sup>-1</sup>)</b>	<b>Carotenóides totais (mg.100g<sup>-1</sup>)</b>
<i>In natura</i>	0,13±0,02 ab	0,18±0,04 a	0,31±0,02 a	0,21±0,01 a
Liofilizada	0,16±0,01 a	0,07±0,01b	0,24±0,02 b	0,21±0,02 a
40 °C	0,10±0,01 b	0,06±0,01 b	0,16±0,02 c	0,17±0,02 a
50 °C	0,12±0,02 b	0,07±0,01 b	0,19±0,03 bc	0,19±0,03 a
60 °C	0,13±0,00 ab	0,06±0,00 b	0,19±0,01 bc	0,19±0,00 a
70 °C	0,11±0,01 b	0,07±0,01 b	0,18±0,02 c	0,19±0,01 a
80 °C	0,10±0,01 b	0,05±0,00 b	0,15±0,00 c	0,17±0,01 a

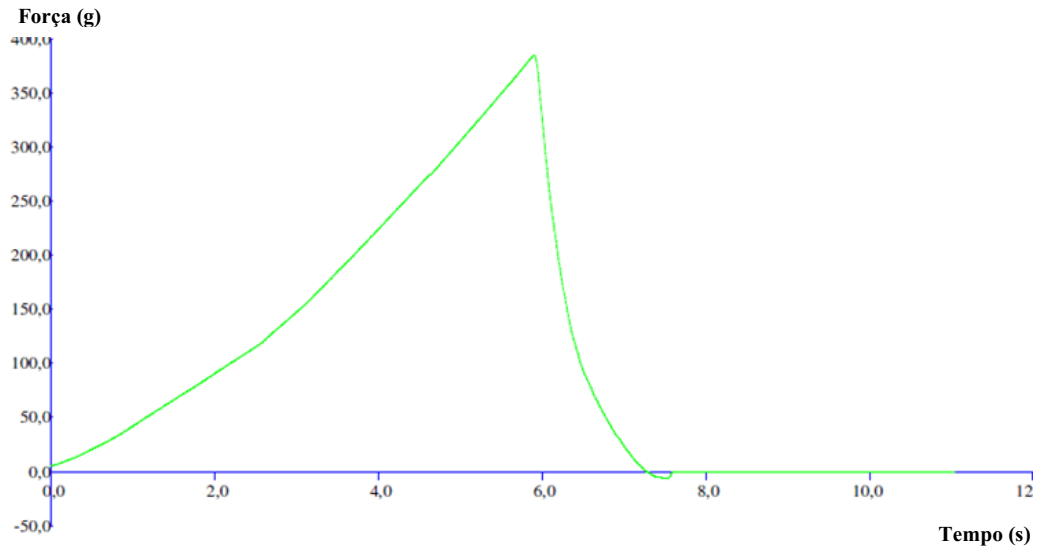
Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

## **APÊNDICE C**

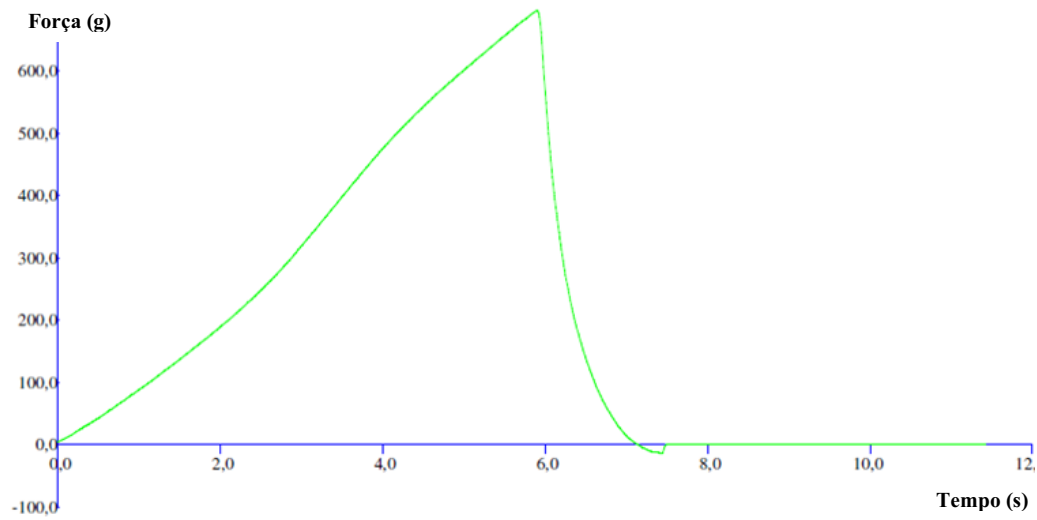
(Gráficos de textura dos pães de forma para as formulações padrão (P), adicionado do pó microencapsulado da casca da manga 'Palmer' por secagem convectiva a 60 °C (MS) e liofilização (ML) )



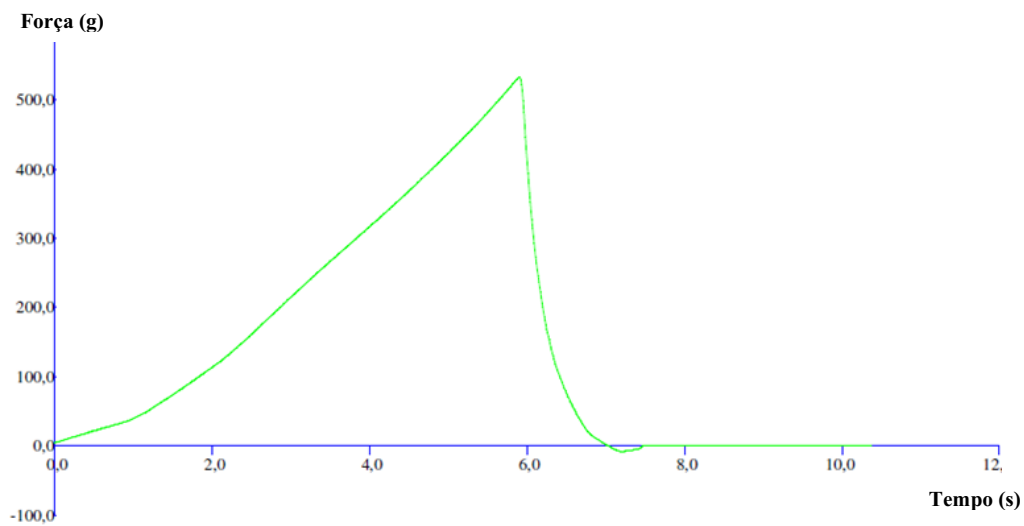
### Formulação padrão (P)



### Formulação adicionado do pó microencapsulado da casca da manga 'Palmer' por secagem convectiva a 60 °C (MS)



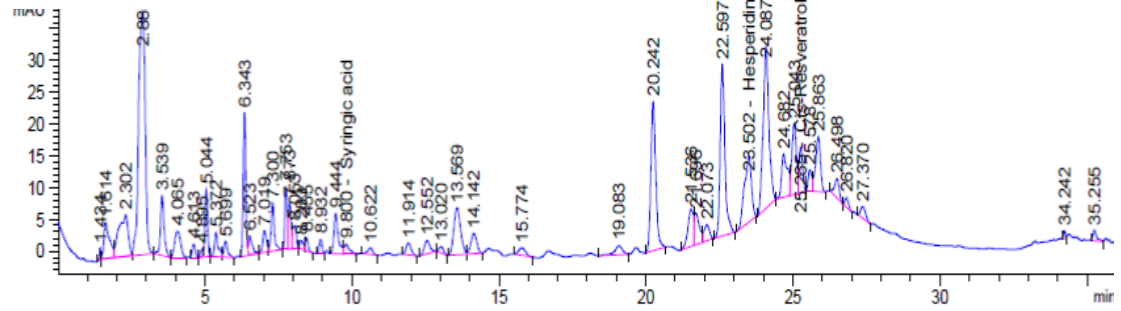
### Formulação adicionado do pó microencapsulado da casca da manga 'Palmer' por liofilização (ML)



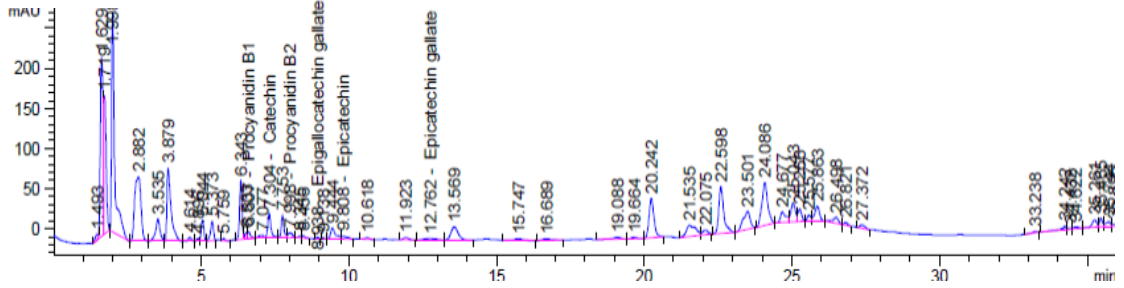
## **APÊNDICE D**

(Cromatograma do perfil de fenólicos da casca da manga ‘Palmer’ *in natura* (IN))

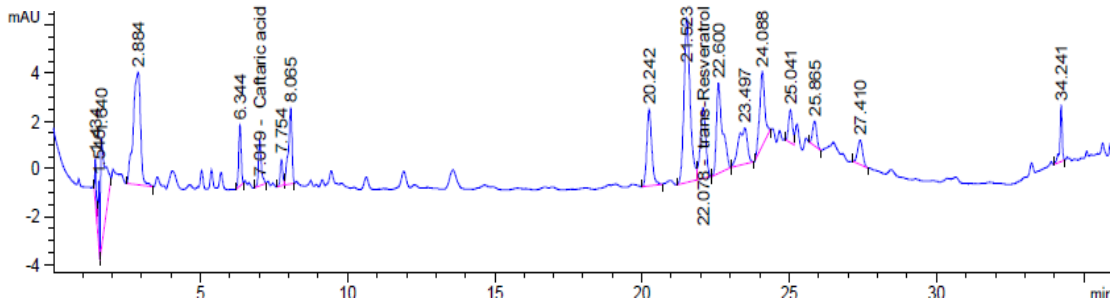
**DAD 280 nm**



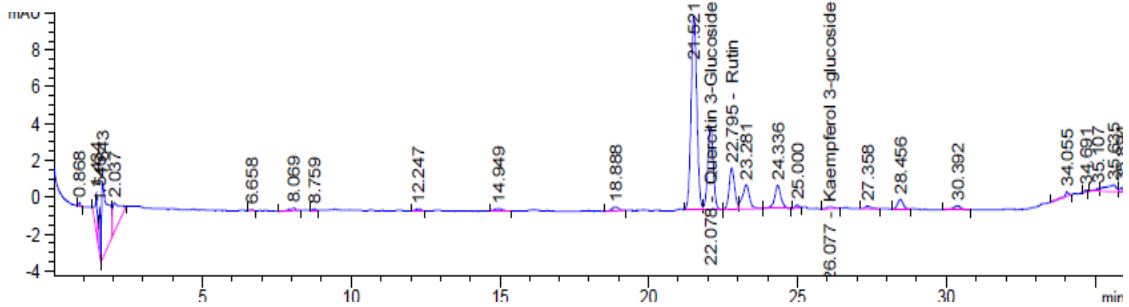
**DAD 220 nm**



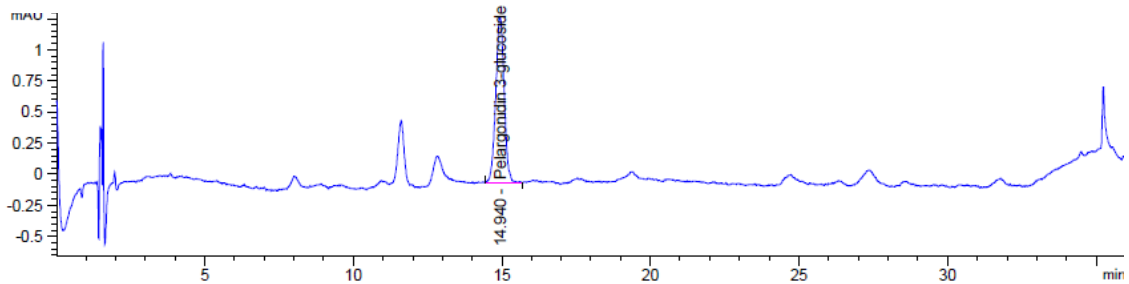
**DAD 320 nm**



**DAD 360 nm**



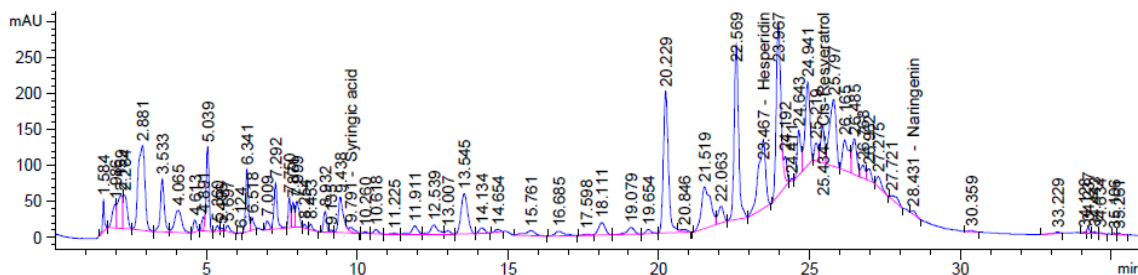
**DAD 520 nm**



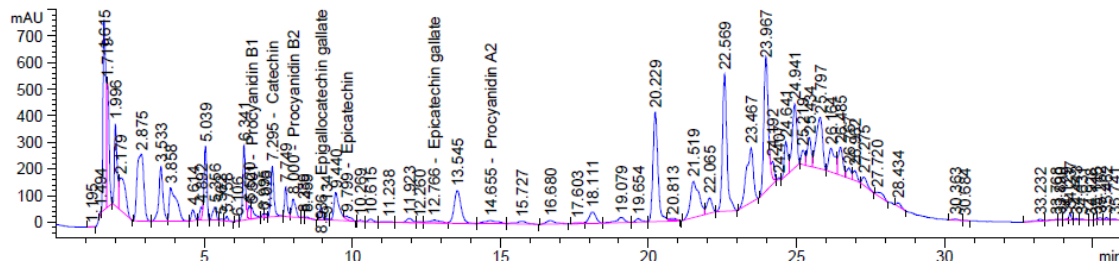
## **APÊNDICE E**

(Cromatograma do perfil de fenólicos da casca da manga 'Palmer' submetida à secagem convectiva a 60 °C (S) )

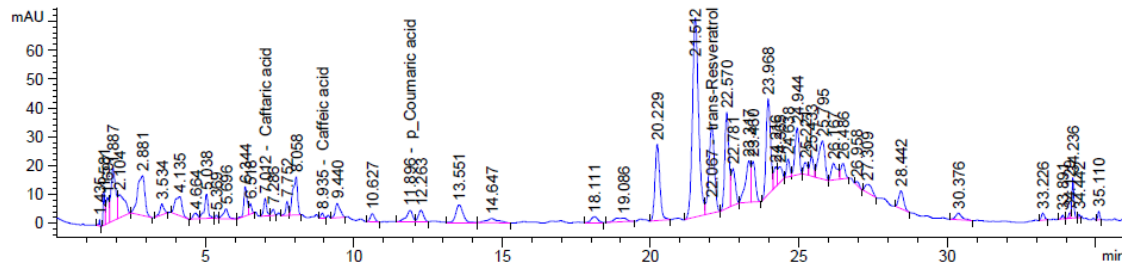
**DAD 280 nm**



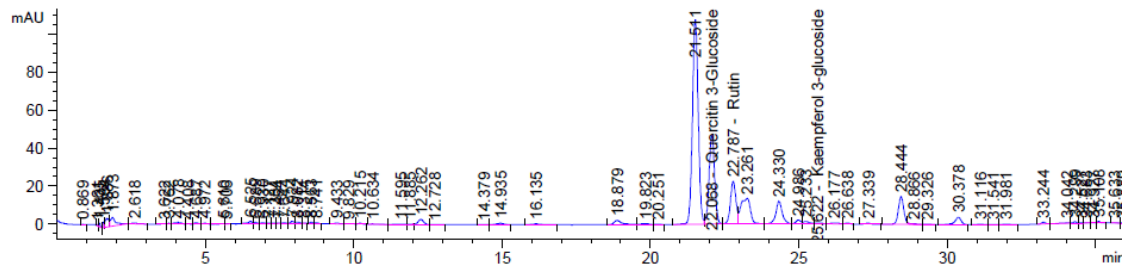
**DAD 220 nm**



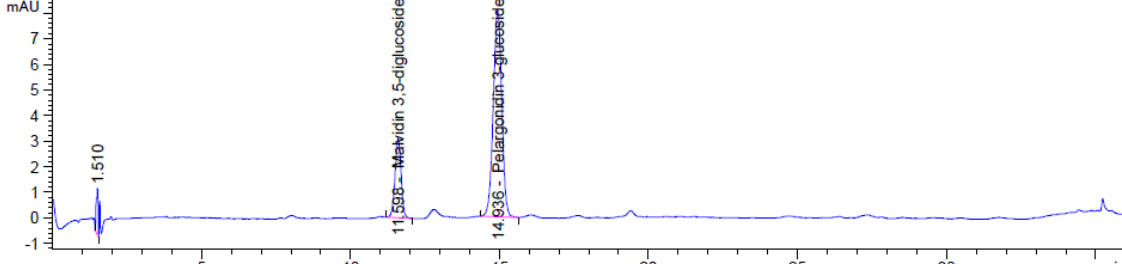
**DAD 320 nm**



**DAD 360 nm**



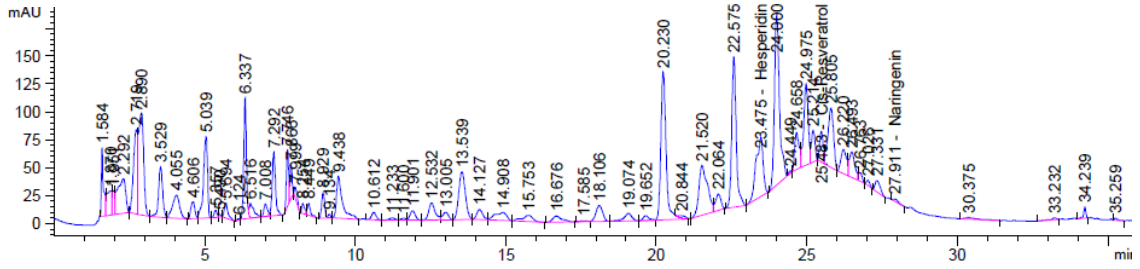
**DAD 520 nm**



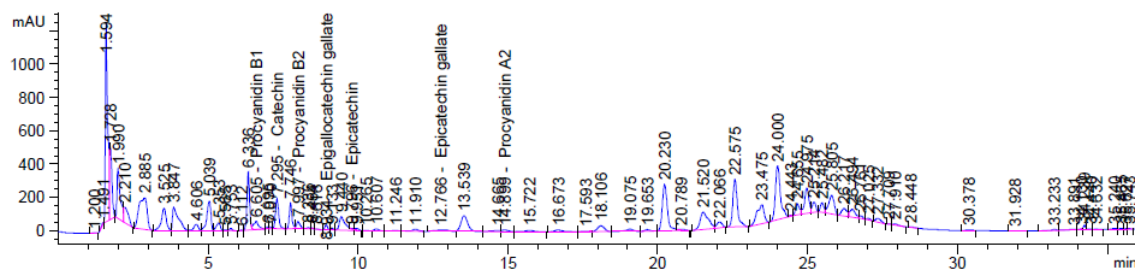
## **APÊNDICE F**

(Cromatograma do perfil de fenólicos da casca da manga 'Palmer' submetida à secagem por liofilização (L) )

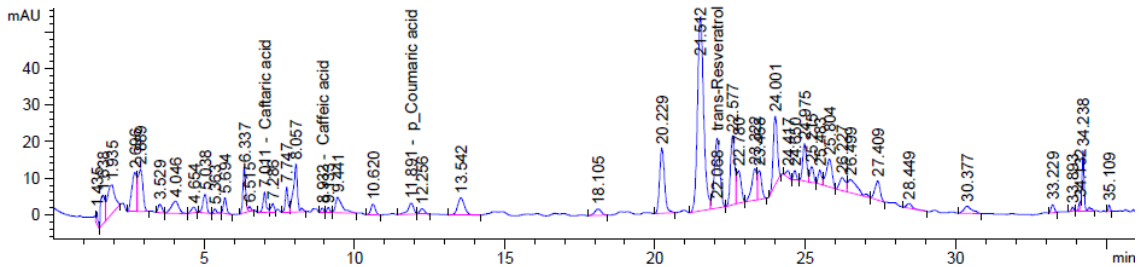
DAD 280 nm



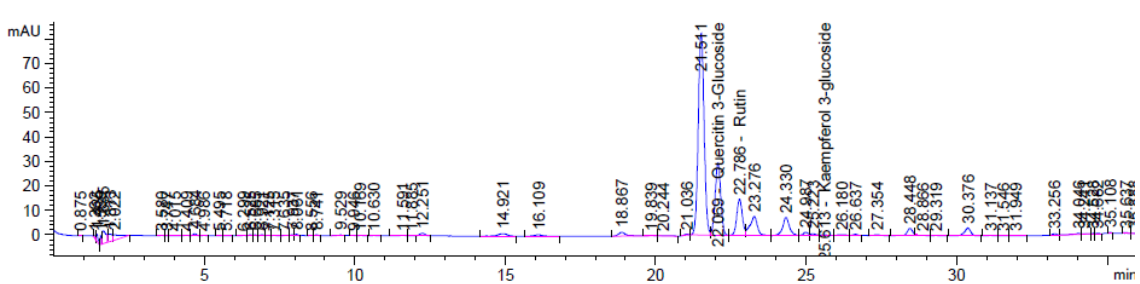
DAD 220 nm



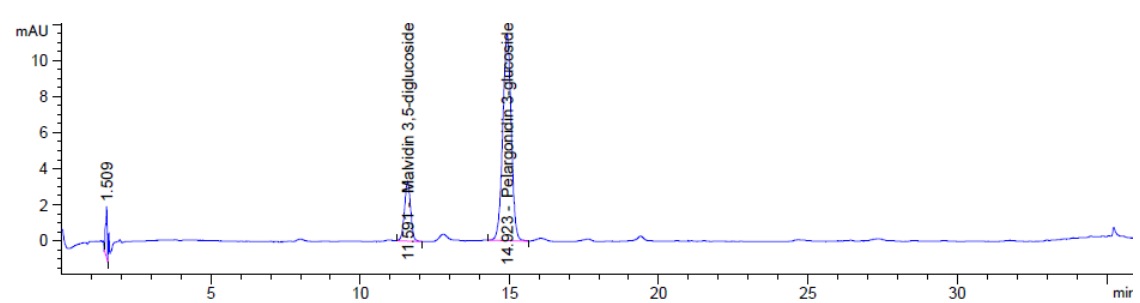
DAD 320 nm



DAD 360 nm



DAD 520 nm

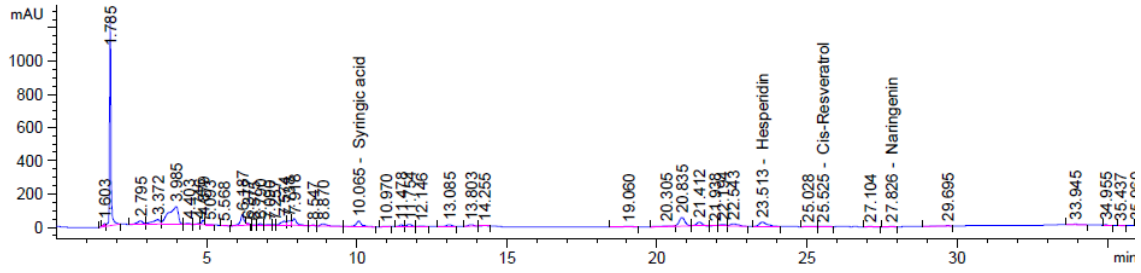


## **APÊNDICE G**

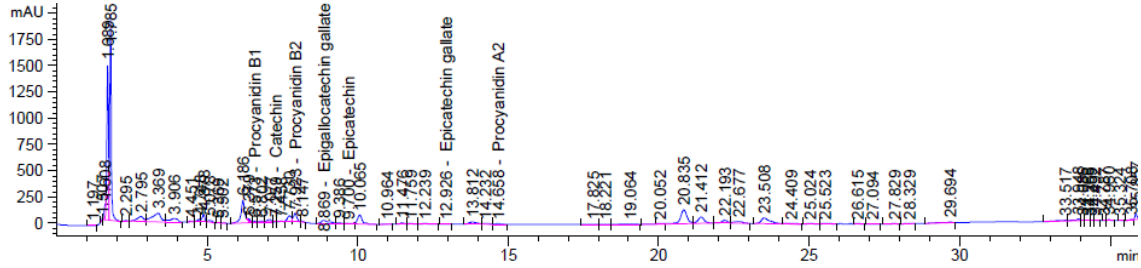
(Cromatograma do perfil de fenólicos da casca da manga 'Palmer' microencapsulado  
secagem convectiva a 60 °C (MS))



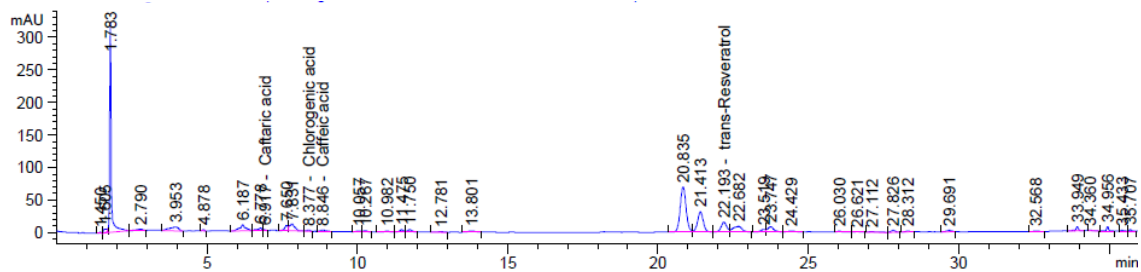
DAD 280 nm



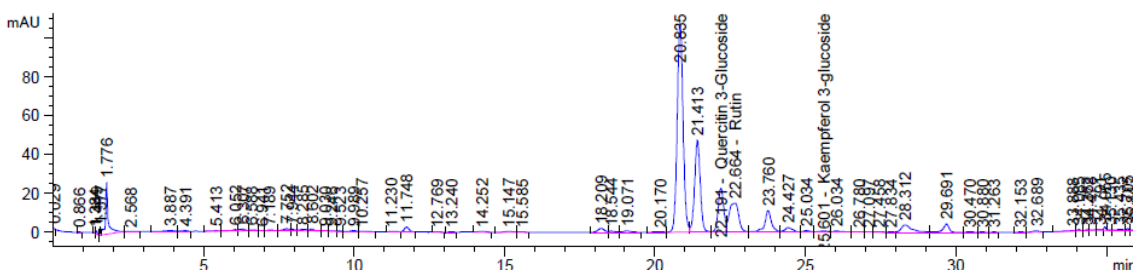
DAD 220 nm



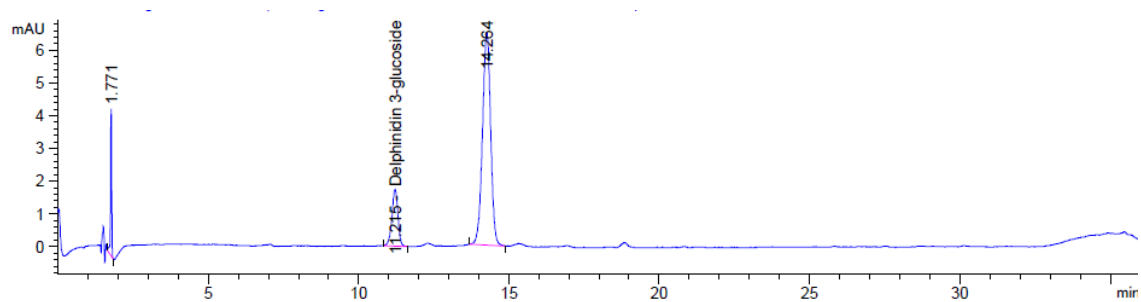
DAD 320 nm



DAD 360 nm



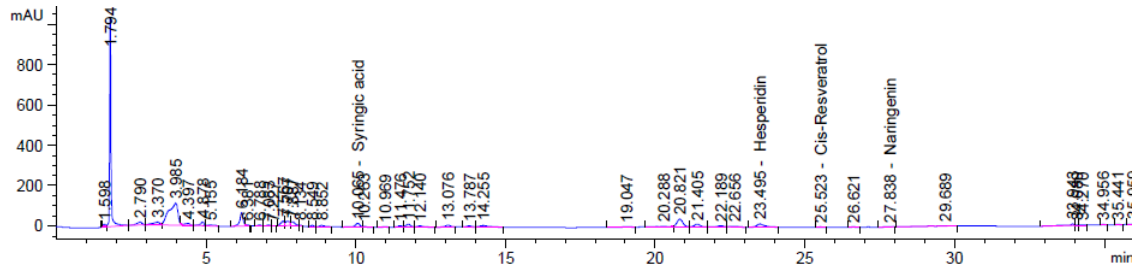
DAD 520 nm



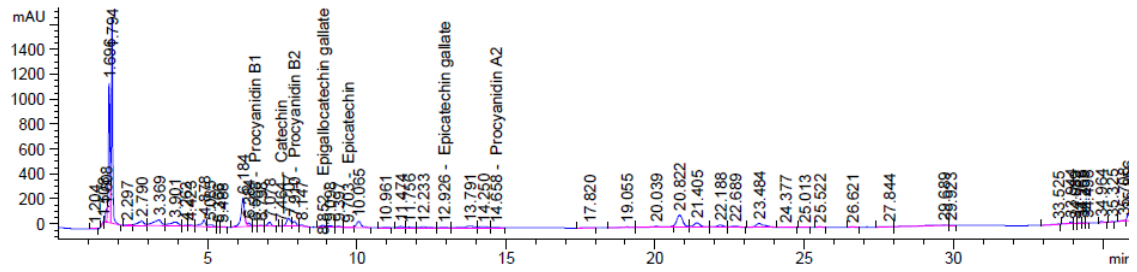
## **APÊNDICE H**

(Cromatograma do perfil de fenólicos da casca da manga 'Palmer' microencapsulado  
Liolizado (ML))

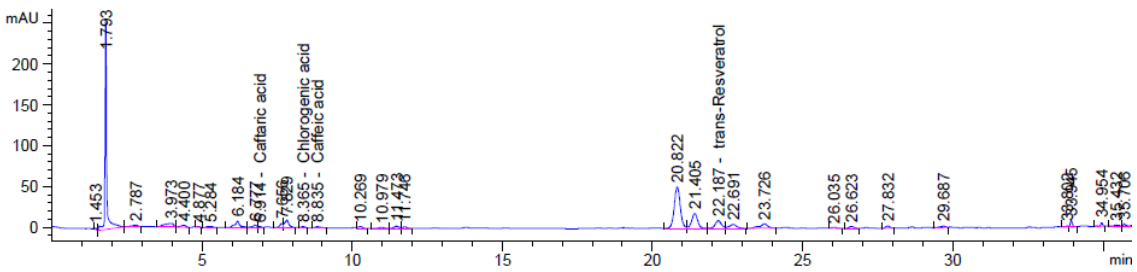
DAD 280 nm



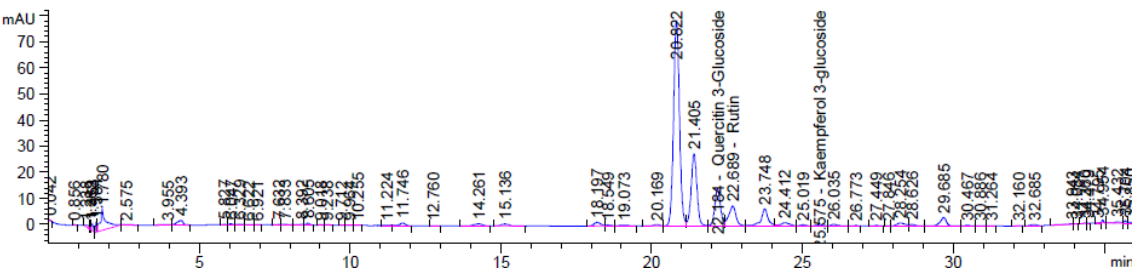
DAD 220 nm



DAD 320 nm



DAD 360 nm



DAD 520 nm

