



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



**DISSERTAÇÃO**

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

**SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO DO PARÊNQUIMA DO CLADÓDIO DA  
PALMA**

**MARIA JOSÉ SILVEIRA DA SILVA**

**Campina Grande - PB**

**Fevereiro - 2016**

**SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO DO PARÊNQUIMA DO CLADÓDIO DA  
PALMA**

**MARIA JOSÉ SILVEIRA DA SILVA**

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

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Processamento e Armazenamento de Produtos  
Agrícolas**

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

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

**Campina Grande – PB**

**Fevereiro - 2016**

S586s Silva, Maria José Silveira da.  
Secagem e caracterização do parênquima do cladódio da palma / Maria José Silveira da Silva. - Campina Grande, 2020.  
94f. : il. Color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2020.

"Orientação: Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz, Profª. Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo".

Referências.

1. *Opuntia ficus-indica* Mill. 2. Desidratação Osmoconvectiva. 3. Solução de Açúcar Mascavo. 4. Isotermas de Adsorção de Água. I. Queiroz, Alexandre José de Melo. II. Figueirêdo, Rossana Maria Feitosa de. III. Título.

CDU 633.39(043)



---

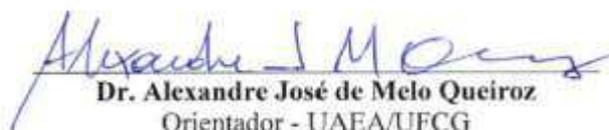
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO

MARIA JOSÉ SILVEIRA DA SILVA

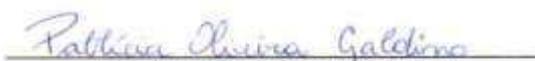
SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO DO PARÊNQUIMA DO  
CLADÓDIO DA PALMA

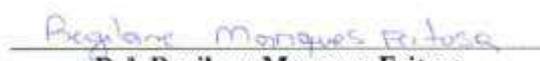
APROVADA: 29 de fevereiro de 2016

BANCA EXAMINADORA

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

  
**Drª. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo**  
Orientadora – UAEA/UFCG

  
**Dr. Pablicia Oliveira Galdino**  
Examinadora- CCT/UEPB

  
**Drª. Regilane Marques Feitosa**  
Examinadora - PNPd/CAPES

*“[...] Onde você quer chegar?  
Ir alto... sonhe alto...  
Queira o melhor do melhor...  
Pensando assim trazemos pra nós aquilo que desejamos...  
Se pensarmos pequeno coisas pequenas teremos ....  
Já se desejarmos fortemente o melhor e principalmente  
lutarmos pelo melhor, o melhor vai se instalar em nossa vida.  
“Porque sou do tamanho daquilo que vejo, e não do tamanho  
da minha altura.””*

(Carlos Drummond de Andrade)

### **Dedicatória**

Aos meus pais **Maria Silveira e José Ferreira** (*in memória*) pelos ensinamentos e amor incondicional e a um ser muito especial que sempre esteve do meu lado nos momentos mais difíceis da minha vida **Jane Cleber** (*in memória*), obrigada por tudo.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela proteção e imenso amor incondicional em minha vida!

A minha mãe Maria Silveira, que esteve sempre presentes em todos os momentos, apoiando-me e não medindo esforços para que eu atingisse meus objetivos.

Aos meus irmãos, Janicleia, Josicleber e Josicleia, pelo apoio e carinho que sempre demonstraram por mim.

À toda minha família que sempre me apoiaram de forma direta ou indiretamente.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz.

À minha orientadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo, pela amizade, paciência, conselhos, ensinamentos. Admiro muito o seu profissionalismo e o seu comprometimento em ensinar bem! Obrigada por tudo!

Ao Prof. Dr. Franciscleudo Bezerra da Costa e aos alunos do curso de engenharia de alimentos pela importante contribuição na realização das análises.

Ao senhor Eraldo por fornecer a matéria-prima para o trabalho, além de toda a atenção dispensada em nossos contatos.

À minha amiga Marcela Nobre, por todo o apoio na minha vida acadêmica e ajuda na coleta da matéria-prima.

As minhas colega de mestrado, Jemima Ferreira, Inacia Moreira e Deise Gastro pelo convívio em todos os momentos.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola pelos ensinamentos.

Aos membros da banca examinadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Pablícia Oliveira Galdino e a Pesquisadora. Dr<sup>a</sup>. Regilane Marques Feitosa pelas sugestões que só vieram a enriquecer este trabalho.

À CAPES, pela bolsa concedida.

Enfim, a todos que não foram citados, mas que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho. Muito Obrigada!

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>iii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>vi</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>x</b>
<b>1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 - Objetivo geral .....	2
1.1.1 – Objetivos específicos .....	2
<b>2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>4</b>
2.1 – Palma forrageira .....	4
2.2 – Secagem .....	6
2.3 – Desidratação osmótica .....	7
2.4 – Secagem convectiva .....	9
2.5 – Isotermas de sorção .....	10
2.6 – Estado da arte .....	12
<b>3 – MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>16</b>
3.1 – Local de execução do experimento .....	16
3.2 – Matéria-prima .....	16
3.3 – Recepção .....	16
3.4 – Processamento .....	16
3.5 – Caracterização físico-química da polpa integral	17
3.6 – Desidratação osmótica .....	18
3.7 – Secagem convectiva .....	19
3.8 – Isoterma de adsorção de água .....	21
3.8.1 – Modelos matemáticos .....	21
3.9 – Caracterização físico-química dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos	22
3.9.1 – Atividade de água ( $a_w$ ) .....	22
3.9.2 – Ácido ascórbico.....	22
3.9.3 – Açúcares redutores.....	23
3.9.4 – Clorofila e carotenoides.....	23
3.9.5 – Compostos fenólicos totais.....	23
3.9.6 – Flavonoides e antocianinas.....	24

3.9.7 – Cor.....	24
3.9.8 – Análise dos dados .....	24
<b>4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>25</b>
4.1 – Caracterização físico-química dos parênquimas dos cladódios de palma	25
4.2 – Cinética de desidratação osmótica .....	29
4.3 – Cinética de secagem .....	39
4.4 – Caracterização físico-química dos parênquimas dos cladódios da palma osmodesidratados e secados em secado convectivo	47
4.5 – Isotermas de adsorção de água .....	62
<b>5 - CONCLUSÕES .....</b>	<b>70</b>
<b>6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>71</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>80</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1 -</b>	Composição média do broto de palma, alface e espinafre .....	5
<b>Tabela 3.1 -</b>	Modelos matemáticos utilizados na determinação das curvas de secagem .....	20
<b>Tabela 3.2 -</b>	Modelos matemáticos de ajuste de isotermas de adsorção de água .....	21
<b>Tabela 4.1 -</b>	Valores médios e desvios padrão dos parâmetros físico-químicos da polpa integral dos cladódios da palma .....	25
<b>Tabela 4.2 -</b>	Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados aos dados de perda de água (%) dos parênquimas dos cladódios de palma desidratados osmoticamente .....	30
<b>Tabela 4.3 -</b>	Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados aos dados de perda de massa (%) dos parênquimas dos cladódios de palma desidratados osmoticamente .....	31
<b>Tabela 4.4 -</b>	Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados aos dados de ganho de sólidos (%) dos parênquimas dos cladódios de palma desidratados osmoticamente .....	32
<b>Tabela 4.5 -</b>	Parâmetros dos modelos ajustados as curvas de secagem dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos na temperatura de 55 °C e velocidade do ar de 1,5 m/s, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) .....	40
<b>Tabela 4.6 -</b>	Parâmetros dos modelos ajustados as curvas de secagem dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos na temperatura de 65 °C e velocidade do ar de 1,5 m/s, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) .....	44
<b>Tabela 4.7 -</b>	Valores médios da atividade de água dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos .....	47

<b>Tabela 4.8 -</b>	Valores médios do pH dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos .....	48
<b>Tabela 4.9 -</b>	Valores médios de acidez total titulável (% ácido cítrico) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos	49
<b>Tabela 4.10 -</b>	Valores médios de sólidos solúveis totais (°Brix) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos	50
<b>Tabela 4.11 -</b>	Valores médios da relação SST/ATT dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos .....	51
<b>Tabela 4.12 -</b>	Valores médios do teor de ácido ascórbico (mg /100 g) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos	52
<b>Tabela 4.13 -</b>	Valores médios de teor de água (% b.u) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos .....	53
<b>Tabela 4.14 -</b>	Valores médios de cinzas (%) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos .....	54
<b>Tabela 4.15 -</b>	Valores médios de açúcares redutores (g/100 g) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos .....	54
<b>Tabela 4.16 -</b>	Valores médios de clorofila total (µg/100 g) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos .....	55
<b>Tabela 4.17 -</b>	Valores médios de carotenóides (µg/100 g) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos .....	56
<b>Tabela 4.18 -</b>	Valores médios de compostos fenólicos (mg/100 g) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos	57
<b>Tabela 4.19 -</b>	Valores médios de flavonóides (mg/100 g) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos .....	58
<b>Tabela 4.20 -</b>	Valores médios de antocianinas (mg/100 g) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos .....	58
<b>Tabela 4.21 -</b>	Valores médios de proteína (%) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos .....	59
<b>Tabela 4.22 -</b>	Valores médios de luminosidade (L*) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos .....	60
<b>Tabela 4.23 -</b>	Valores médios de intensidade de vermelho (+a*) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos	61

<b>Tabela 4.24 -</b>	Valores médios de intensidade de amarelo (+b*) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos	61
<b>Tabela 4.25 -</b>	Valores médios de cromaticidade dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos .....	62
<b>Tabela 4.26 -</b>	Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados as isotermas de adsorção de água dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratado com açúcar cristal a 45 e 55 °Brix e seco a 55 e 65 °C .....	63
<b>Tabela 4.27 -</b>	Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados as isotermas de adsorção de água dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratado com açúcar mascavo a 45 e 55 °Brix e seco a 55 e 65 °C .....	67

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1 -</b>	Palma forrageira ( <i>Opuntia ficus indica</i> Mill) .....	4
<b>Figura 2.2 -</b>	Fenômeno do transporte de massa durante o processo osmótico .....	8
<b>Figura 2.3 -</b>	Classificação das isotermas de Brunauer (1940) .....	11
<b>Figura 3.1 -</b>	Etapas do processamento para obtenção dos parênquimas dos cladódios desidratados osmoticamente .....	17
<b>Figura 4.1 -</b>	Curvas de desidratação osmótica da perda de água (%) dos parênquimas dos cladódios de palma durante a desidratação osmótica com açúcar cristal na temperatura de 50 °C: a) 45 °Brix; e b) 55 °Brix .....	33
<b>Figura 4.2 -</b>	Curvas de desidratação osmótica da perda de massa (%) dos parênquimas dos cladódios de palma durante a desidratação osmótica com açúcar cristal na temperatura de 50 °C: a) 45 °Brix; e b) 55 °Brix .....	34
<b>Figura 4.3 -</b>	Curvas de desidratação osmótica do ganho de sólidos dos parênquimas dos cladódios de palma durante a desidratação osmótica com açúcar cristal na temperatura de 50 °C: a) 45 °Brix; e b) 55 °Brix .....	35
<b>Figura 4.4 -</b>	Curvas de desidratação osmótica da perda de água (%) dos parênquimas dos cladódios de palma durante a desidratação osmótica com açúcar mascavo na temperatura de 50 °C: a) 45 °Brix; e b) 55 °Brix .....	36
<b>Figura 4.5 -</b>	Curvas de desidratação osmótica da perda de massa (%) dos parênquimas dos cladódios de palma durante a desidratação osmótica com açúcar mascavo na temperatura de 50 °C: a) 45 °Brix; e b) 55 °Brix .....	37
<b>Figura 4.6 -</b>	Curvas de desidratação osmótica do ganho de sólidos (%) dos parênquimas dos cladódios de palma durante a desidratação osmótica com açúcar mascavo na temperatura de 50 °C: a) 45 °Brix; e b) 55 °Brix .....	39
<b>Figura 4.7 -</b>	Curvas de secagem convectiva dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados com açúcar cristal (A) e açúcar mascavo (B) com diferentes concentrações (45 e 55 °Brix) e secos na	42

	temperatura de 55 °C e velocidade do ar de 1,5 m/s, com ajuste pelo modelo de Midilli .....	
<b>Figura 4.8 -</b>	Curvas de secagem convectiva dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados com açúcar cristal (A) e açúcar mascavo (B) com diferentes concentrações (45 e 55 °Brix) e secos na temperatura de 65 °C e velocidade do ar de 1,5 m/s, com ajustes pelo modelo de Midilli .....	46
<b>Figura 4.9 -</b>	Isotermas de adsorção de água a 25 °C dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratado com açúcar cristal nas concentrações (45 e 55 °Brix), secos a 55 °C, com ajustes pelo modelo de Peleg .....	65
<b>Figura 4.10 -</b>	Isotermas de adsorção de água a 25 °C dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratado com açúcar cristal nas concentrações (45 e 55 °Brix), secos a 65 °C, com ajustes pelo modelo de Peleg .....	66
<b>Figura 4.11 -</b>	Isotermas de adsorção de água a 25 °C dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratado com açúcar mascavo nas concentrações (45 e 55 °Brix), secos a 55 °C, com ajustes pelo modelo de Peleg .....	68
<b>Figura 4.12 -</b>	Isotermas de adsorção de água a 25 °C dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratado com açúcar mascavo nas concentrações (45 e 55 °Brix), secos a 65 °C, com ajustes pelo modelo de Peleg .....	69
<b>Figura A.1 -</b>	Cinéticas de secagem dos parênquimas dos cladódios de palma desidratados osmoticamente com açúcar cristal nas concentrações (45 e 55 °Brix) e secos a 55 °C, com ajuste pelo modelo de Page ..	81
<b>Figura A.2 -</b>	Cinéticas de secagem dos parênquimas dos cladódios de palma desidratados osmoticamente com açúcar cristal nas concentrações (45 e 55 °Brix) e secos a 65 °C, com ajuste pelo modelo de Page ..	81
<b>Figura A.3 -</b>	Cinéticas de secagem dos parênquimas dos cladódios de palma desidratados osmoticamente com açúcar mascavo nas concentrações (45 e 55 °Brix) e secos a 55 °C, com ajuste pelo modelo de Page .....	82

<b>Figura A.4 -</b>	Cinéticas de secagem dos parênquimas dos cladódios de palma desidratados osmoticamente com açúcar mascavo nas concentrações (45 e 55 °Brix) e secos a 65 °C, com ajuste pelo modelo de Page .....	82
<b>Figura A.5 -</b>	Cinéticas de secagem dos parênquimas dos cladódios de palma desidratados osmoticamente com açúcar cristal nas concentrações (45 e 55 °Brix) e secos a 55 °C, com ajuste pelo modelo de Henderson & Pabis .....	83
<b>Figura A.6 -</b>	Cinéticas de secagem dos parênquimas dos cladódios de palma desidratados osmoticamente com açúcar cristal nas concentrações (45 e 55 °Brix) e secos a 65 °C, com ajuste pelo modelo de Henderson & Pabis .....	83
<b>Figura A.7 -</b>	Cinéticas de secagem dos parênquimas dos cladódios de palma desidratados osmoticamente com açúcar mascavo nas concentrações (45 e 55 °Brix) e secos a 55 °C, com ajuste pelo modelo de Henderson & Pabis .....	84
<b>Figura A.8 -</b>	Cinéticas de secagem dos parênquimas dos cladódios de palma desidratados osmoticamente com açúcar mascavo nas concentrações (45 e 55 °Brix), secos a 65 °C, com ajuste pelo modelo de Henderson & Pabis .....	84

# SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO DO PARÊNQUIMA DO CLADÓDIO DA PALMA

## RESUMO

A palma forrageira apresenta grande vantagem por ser uma cactácea bem adaptada às adversidades climáticas da região Nordeste, de fácil plantio e elevada produção de massa seca por hectare. O objetivo do presente trabalho foi secar o parênquima do cladódio de palma (*Opuntia ficus-indica* L. Mill) por processos combinados de desidratação osmótica e secagem convectiva. O parênquima foi cortado em forma de cubos e submetido a desidratação osmótica em soluções de sacarose (açúcar mascavo e açúcar cristal) com duas concentrações (45 e 55 °Brix) na temperatura de 50 °C, em seguida submetido a secagem convectiva nas temperaturas de 55 e 65 °C. Verificou-se que as cinéticas de perda de água e de ganho de sólidos durante a desidratação osmótica com as duas soluções de sacarose podem ser preditas por uma equação exponencial; e as cinéticas de secagem convectiva podem ser estimadas pelos modelos de Page e Midilli, com o melhor ajuste para o modelo de Midilli. As amostras desidratadas osmoconvectivamente apresentaram os melhores valores para a atividade de água, acidez total titulável, ácido ascórbico, teor de água, cinzas, carotenoides, compostos fenólicos, flavonoides, antocianinas e intensidade de vermelho para as amostras tratadas com o açúcar mascavo quando comparadas com as amostras tratadas com o açúcar cristal. Os modelos de Peleg e GAB podem ser usados para estimar as isotermas de adsorção de água das amostras desidratadas osmodesidratadas, com destaque para o modelo de Peleg resultando nos melhores ajustes. As isotermas de adsorção de água na sua maioria foram classificadas como tipo III.

**Palavras-chaves:** *Opuntia ficus-indica* Mill, desidratação osmoconvectiva, solução de açúcar mascavo, isotermas de adsorção de água.

## DRYING AND CHARACTERIZATION OF THE PARAMETER OF THE PALM CLADDY

### ABSTRACT

The forage palm has a great advantage because it is a cactacea well adapted to the climatic adversities of the Northeast region, easy to plant and high dry mass production per hectare. The objective of the present work was to dry the parenchyma of the palm cladode (*Opuntia ficus-indica* L. Mill) by combined processes of osmotic dehydration and convective drying. The parenchyma was cut into cubes and subjected to osmotic dehydration in sucrose solutions (brown sugar and crystal sugar) with two concentrations (45 and 55 °Brix) at a temperature of 50 °C, then subjected to convective drying at temperatures of 55 and 65 °C. It was found that the kinetics of water loss and solids gain during osmotic dehydration with the two sucrose solutions can be predicted by an exponential equation; and convective drying kinetics can be estimated by the Page and Midilli models, with the best fit for the Midilli model. The osmoconvectively dehydrated samples showed the best values for water activity, total titratable acidity, ascorbic acid, moisture content, ash, carotenoids, phenolic compounds, flavonoids, anthocyanins and redness for samples treated with brown sugar when compared with brown sugar samples treated with crystal sugar. The Peleg and GAB models can be used to estimate the moisture adsorption isotherms of the dehydrated osmodehydrated samples, with emphasis on the Peleg model resulting in the best adjustments. Most moisture adsorption isotherms were classified as type III.

**Keywords:** *Opuntia ficus-indica* Mill, osmoconvective dehydration, brown sugar solution, moisture adsorption isotherms

## 1 - INTRODUÇÃO

O Nordeste, por ser uma região com baixos índices pluviométrico, enfrenta dificuldades na produção de culturas agrícolas de ciclo anual, prejudicadas ainda pelo período chuvoso curto e irregular ao longo dos anos. Por esse motivo, buscam-se alternativas em culturas adaptadas às condições edofoclimáticas locais, de forma a lhes agregar valor e constituir uma fonte de renda permanente. Culturas típicas, como a palma forrageira, que embora não seja nativa do Brasil, encontra perfeita adaptabilidade no semiárido, apresenta crescimento vegetativo durante o ano todo, produzindo matéria prima regional por meio dos cladódios. Além disso a palma forrageira é usada na alimentação humana, arrazoamento animal, como fonte de energia, na medicina, na indústria de cosméticos, na proteção e conservação do solo, dentre outros usos nobres, a exemplo da fabricação de adesivos, colas, fibras para artesanato, papel, corantes, mucilagem, antitranspirantes e ornamentação (BARBERA, 2001).

A palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill.) é uma cactácea originária do México, e está presente em todos os continentes. É a planta mais explorada e distribuída nas zonas áridas e semiáridas do mundo, contudo sua real dimensão produtiva ainda não foi plenamente conhecida no Nordeste (PEIXOTO, 2004)

Segundo Cândido *et al.* (2013), as duas espécies de palma cultivadas no Nordeste brasileiro são as do gêneros *Opuntia* (cultivares ‘Gigante’ e ‘Redonda’) e *Nopalea* (palma miúda ou palma doce), ambas da família *Cactacea*, provenientes do México e que são cultivadas principalmente nos períodos de seca, como uma das principais fontes de alimentação para o gado, mas atualmente esta sendo inserida na dieta humana, como ingredientes em várias receitas da culinária nordestina.

A conservação de alimentos por desidratação permite que o produto obtido tenha uma vida de prateleira maior. A palma forrageira é um produto perecível: por isso, necessita-se utilizar tecnologias pós-colheita, tais como, a conservação por desidratação. Assim permite o aumento da vida de prateleira, devido à redução da atividade de água que é associada à redução no custo de transporte e armazenamento, em virtude da leveza e da compactação, combinados aos efeitos benéficos da estabilidade microbiológica e química, no valor nutritivo e sensorial do produto (FELLOWS, 2006).

De acordo com Torreggiani e Bertolo (2001), a desidratação por imersão-impregnação (DII) ou também denominada desidratação osmótica, tem sido utilizada como

pré-tratamento que melhora algumas propriedades nutricionais, sensoriais e funcionais do produto seco.

De acordo com Park *et al.* (2001), a secagem tem como objetivo reduzir o teor de água do produto, possibilitando o aumento da vida-de-prateleira, reduzindo o volume, facilitando o transporte e o armazenamento. A secagem por convenção é um processo complexo que envolve transferência de calor e massa. Durante o processo, o calor evapora a água do alimento e o ar remove o vapor d'água, reduzindo o teor de água e a atividade de água, e aumentando a vida útil do produto final (FIOREZE, 2004).

Os aspectos destacados anteriormente trata-se de uma alternativa para minimizar as perdas pós-colheita e agregar valor ao produto utilizando processos baratos e fáceis de serem utilizados, que irão promover o aumento da vida-de-prateleira da palma com vistas ao seu emprego na alimentação humana, no qual representa um fator importante no desenvolvimento do potencial econômico e social, tendo em vista que a palma dispõe de atributos nutricionais elevados.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da pré-desidratação osmótica associada ao processo de secagem osmótica como alternativa para um maior aproveitamento dos cladódios de palma, como também inseri-lo como ingrediente na produção de produtos alimentícios destinados à alimentação humana.

## **1.1 – Objetivo geral**

Secar o parênquima do cladódio de palma (*Opuntia ficus-indica* Mill) por processos combinados de desidratação osmótica e secagem convectiva.

### **1.1.1 – Objetivos específicos**

Caracterizar a polpa do cladódio de palma quanto aos parâmetros químicos, físicos e físico-químicos;

Realizar desidratações osmóticas dos parênquimas dos cladódios de palma cortado em cubos, utilizando as soluções de sacarose, (açúcar mascavo e açúcar cristal) nas concentrações de 45 e 55 °Brix e avaliando o estudo da cinética de desidratação;

Secar os cubos desidratados osmoticamente em secador convectivo de bandeja, nas temperaturas de 55 e 65 °C, com velocidade de ar a 1,5 cm/s<sup>2</sup>, avaliando o estudo das cinéticas de secagem;

Ajustar os modelos de Midilli, Page, Henderson e Pabis, aos dados experimentais da cinética de secagem;

Caracterizar as amostras secas quanto aos parâmetros químicos, físicos e físico-químicos;

Determinar as isotermas de adsorção de água dos produtos secos, na temperatura de 25 °C, ajustando os modelos de GAB, Peleg e Oswin aos dados.

## 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 – Palma forrageira

A palma foi introduzida no Brasil, provavelmente, durante o período da colonização, destinada à produzir um corante natural, o carmim, para ser empregado por indústrias têxteis em alguns Estados do Nordeste. Mais tarde, com o lançamento intensivo no mercado de corantes sintéticos derivados do petróleo, o processo de produção do carmim foi inviabilizado, levando ao abandono dessa atividade. Assim, as espécies introduzidas passaram a ser vistas como plantas ornamentais, e somente por volta de 1915, é que a palma veio a ser utilizada como forragem (ALBUQUERQUE; SANTOS, 2005).

A palma forrageira (*Opuntia fícus indica* Mill) na Figura 2.1 pertence à família das cactáceas. É uma cultura totalmente adaptada às condições edafoclimáticas da região do semiárido, apresentam metabolismo diferenciado, fazendo a abertura dos estômatos essencialmente à noite, quando a temperatura ambiente apresenta-se reduzida, diminuindo as perdas de água por evapotranspiração (FERREIRA *et al.*, 2008).



**Figura 2.1** - Palma forrageira (*Opuntia fícus indica* Mill)

A resistência à seca envolve aspectos de sua morfologia, fisiologia e bioquímica, sendo considerados três mecanismos relacionados à seca: resistência, tolerância e escape. A resistência está relacionada à sua própria condição xerofítica; a tolerância está relacionada aos fatores bioquímicos, como a diminuição do metabolismo. O escape é através de um sistema radicular superficial e ramificado que lhe possibilita um eficiente aproveitamento das chuvas pouco intensas (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

Mundialmente a palma, conforme registro na literatura, é utilizada para produzir forragem, verdura para consumo humano, frutas frescas, processadas para os mercados nacional e internacional, especialmente EUA e Europa, além da possibilidade de exploração das propriedades medicinais, constatadas experimentalmente no tratamento de diabetes, gastrite e obesidade (CAVALCANTE; CÂNDIDO, 2003).

De acordo com Feugang *et al.* (2006), os cladódios ou raquetes da palma e os frutos são frequentemente consumidos frescos ou processados na América Latina, sendo que somente os frutos frescos são mais difundidos no mercado Europeu e Norte-Americano. As raquetes ou brotos de palma devem ser colhidos entre 30 e 60 dias após a brotação, com 80 a 120 gramas, e com comprimento entre 15 e 20 cm, a fim de que possam ser utilizados como verdura na alimentação humana segundo (VALDEZ, 2001).

Segundo Cantwell (2001), a composição química dos brotos é semelhante à maioria dos vegetais, apresentando em média 85 a 92% de água, 4 a 6% de carboidratos totais, 4 a 6% de fibras, 1 a 2% de proteínas, minerais como o cálcio (1%) e potássio (166 mg/100 g), 10 a 15 mg/100 g de vitamina C e 30 µg/100 g de carotenoides. Na Tabela 2.1 contém a composição média do broto de palma, alface e espinafre.

**Tabela 2.1** - Composição média do broto de palma, alface e espinafre

<b>Componentes</b>	<b>Brotos de palma</b>	<b>Alface</b>	<b>Espinafre</b>
Água (%)	91,0	95,5	90,7
Proteínas (%)	1,5	1,0	3,2
Lipídios (%)	0,2	0,1	0,3
Fibras crus (%)	1,1	0,5	0,9
Carboidratos totais (%)	4,5	2,1	4,3
Cinzas (%)	1,3	0,5	1,8
Cálcio (mg/100 g)	90,0	19,0	99,0
Vitamina C ( mg/100 g)	11,0	4,0	28,0
Carotenóides (µg/100 g)	30,0	19,0	55,0

A agroindustrialização da palma forrageira resulta em diversas preparações, produtos e derivados, permitindo o uso diversificado das raquetes jovens e dos frutos, fato que resulta em agregação de valor produção, com efeitos positivos na geração de postos de trabalho renda. A planta pode ser usada para fazer sucos, saladas, pratos guisados, cozidos e doces (CHIACCHIO, 2006).

## 2.2 – Secagem

A secagem é um método antigo, prático e eficaz para a conservação de alimentos. A água no alimento é removida durante o processo de secagem. Como os microrganismos necessitam de água para crescer e sobreviver, o teor de água final dos produtos deve ser reduzido a fim de diminuir os microrganismos que provocam a deterioração e degradação, promovendo um armazenamento seguro e prolongando a vida útil dos alimentos (HUI *et al.*, 2008).

Na secagem ocorre a transferência simultânea de calor e massa, bem como quantidade de movimento linear, sendo que o transporte de água, do interior para a superfície do material, pode ocorrer na forma de líquido e/ou vapor, dependendo do tipo de produto e do percentual de água presente, fazendo-se necessário a utilização de calor para evaporar a água da superfície do produto, através de um meio de secagem externo, normalmente o ar. A secagem deve acontecer de maneira controlada para que ela possa ocorrer de forma uniforme, evitando elevados gradientes de umidade e temperatura no interior do material, que podem provocar a perda da qualidade do produto. Sabendo-se que os efeitos da secagem alteram as propriedades físicas e químicas do produto nos quais, afetam o processo de transferência de calor e massa, é fundamental importância conhecer os seus efeitos e o seu controle (FARIAS, 2002).

Em geral, a secagem é caracterizada por um período inicial em que o principal mecanismo de transferência de massa é o fluxo capilar de água líquida, sendo constante a taxa de secagem (a taxa de evaporação da água da superfície é igual à taxa de migração de água, a partir do interior para a superfície do alimento). Nos períodos seguintes, a difusão é o principal mecanismo de transferência de massa: a taxa de secagem diminui, dando lugar a uma superfície mais seca. A qualidade dos alimentos desidratado é influenciada tanto pelas condições de secagem, como pelas alterações físico-químicas que ocorrem dentro dos produtos (AGUILERA, 2013).

O principal objetivo da secagem é estender a vida de prateleira (*shelf-life*) dos alimentos por meio da redução da atividade de água ( $a_w$ ), consequentemente inibindo o crescimento microbiano e a atividade enzimática. A temperatura de processamento nem sempre é suficiente para ocasionar as inativações: por isso, qualquer aumento no teor de água durante o armazenamento, devido à embalagem defeituosa, irá resultar em rápida deterioração. Dentre os fatores que influenciam a taxa de secagem estão: o tipo de processamento utilizado, a composição, a estrutura, o volume do material a ser secado e a

temperatura do ar, a quantidade de vapor de água presente no ambiente e, ainda, a quantidade e a velocidade do ar que escoar pelo produto (FELLOWS, 2006).

De acordo com Heldman e Hartel (2000), quando um produto é submetido à secagem, tanto seu teor de água como a atividade de água se alteram ao longo do processo, devido à relação entre o teor de água de equilíbrio do produto e a umidade relativa do ar. Por isso, o estudo desses parâmetros é de fundamental importância para o desenvolvimento de um processo de secagem, tendo em vista que especifica o teor de água do alimento que pode ser atingido sob quaisquer condições do ar de secagem.

Segundo Fioreze (2004), a secagem de produtos agrícolas consiste em remover grande quantidade da água inicial contida no produto, a um teor de água no qual possa ser armazenado em condições ambientais durante longos períodos, sem perda de suas propriedades sensoriais (sabor e aroma).

A secagem apresenta inúmeras vantagens, dentre elas, a facilidade na conservação do produto, estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por longos períodos, proteção contra degradação enzimática e oxidativa, redução do peso e economia de energia. Durante a secagem, é necessário o fornecimento de calor para evaporar a água do material, além de um sorvedor de umidade para remover o vapor de água, formado na superfície do material a ser secado (PARK *et al.*, 2001).

As curvas de secagem são de fundamental importância para o desenvolvimento de processos e para o dimensionamento de equipamentos. Podendo estimar o tempo de secagem de uma determinada quantidade de produtos e o tempo necessário para a produção, estima-se o gasto energético que refletirá no custo do processamento, que influenciará no preço final do produto (VILELA; ARTUR, 2008).

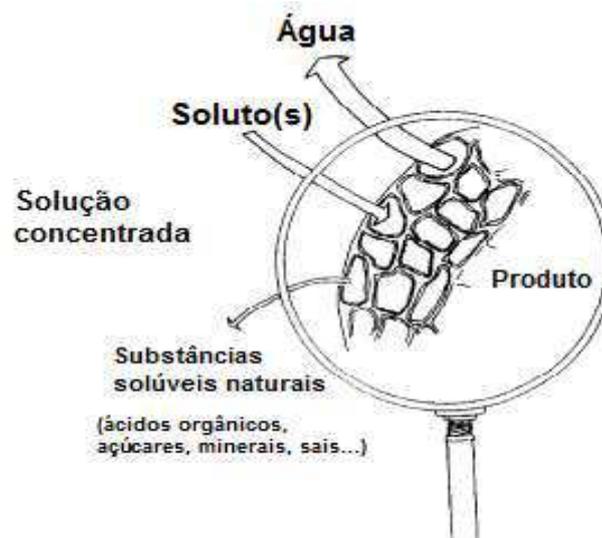
A escolha do secador apropriado está relacionada à manipulação do material úmido, o produto final seco e os custos iniciais da operação. Um secador eficiente deve permitir um bom controle da temperatura, velocidade do ar e umidade relativa. O produto final deve ter características sensoriais e propriedades físico-químicas desejáveis. Para isso, deve-se evitar o escurecimento enzimático e a caramelização dos açúcares, que afetam a cor e o sabor do produto obtido (GAVA, 1983).

### **2.3 – Desidratação osmótica**

A desidratação osmótica é um processo no qual os alimentos são colocados em contato com soluções concentradas de sólidos solúveis que possuem maior pressão osmótica

e menor atividade da água. A complexa estrutura celular dos alimentos pode ser considerada uma membrana semipermeável e a diferença no potencial químico da água entre os alimentos e o meio osmótico é a força motriz para a desidratação (MERCALI, 2009).

De acordo com Lima (2013), o processo da desidratação osmótica consiste na imersão de alimentos sólidos em pedaços ou inteiros, em uma solução aquosa concentrada (hipertônica), resultando em três tipos de fluxos, devido à diferença de concentração entre o agente osmótico (açúcar ou sal) e a fruta. O primeiro e mais importante é a saída de água do tecido do alimento para a solução osmótica; o segundo é a transferência de soluto da solução osmótica para o tecido do alimento. Estes dois fenômenos ocorrem em fluxos simultâneos e contra correntes, através das paredes celulares do alimento. O terceiro fluxo consiste em uma lixiviação dos solutos naturais do tecido do alimento (açúcares, ácidos orgânicos, minerais, vitaminas) para solução osmótica. Esta transferência é quantitativamente insignificante, quando comparada com os dois primeiros fluxos (Figura 2.2).



**Figura 2.2** - Fenômeno do transporte de massa durante o processo osmótico (Fonte: Torregiani, 1993)

A retirada parcial de água é obtida por imersão da matéria-prima em soluções hipertônicas, onde a complexa estrutura da parede celular dos produtos age como uma membrana semipermeável, não completamente seletiva aos íons e compostos presentes tanto na solução osmótica quanto no interior do alimento (LENART; PIOTROWSKI, 2001).

De acordo com Rodrigues e Fernandes (2007), a desidratação osmótica é um pré-tratamento que apresenta, nas fases iniciais da desidratação, uma taxa mais elevada de perda de água, do que a taxa fornecida por processos de secagem, que pode ser usada para reduzir do teor inicial da água e, conseqüentemente, o tempo de secagem, reduzindo perdas de nutrientes pelo calor.

A desidratação osmótica é um método que não fornece produtos com teor de água suficientemente baixo para ser considerado estável em prateleira sob temperatura ambiente. Portanto, esse processo é normalmente utilizado como uma etapa anterior a outros processos como a liofilização, secagem a ar quente ou micro-ondas, ou então para produtos minimamente processados que serão armazenados sob refrigeração (FARIA, 2012).

De acordo com Fioreze (2004), as principais vantagens da desidratação osmótica são: inibição do escurecimento enzimático, retenção da cor natural do produto sem adição de sulfitos, alta retenção dos compostos voláteis durante a posterior desidratação com ar quente e não há mudança de fase no processo, o que significa menor consumo de energia; outra vantagem seria o mercado consumidor, no qual se teriam mais opções de consumo de frutas com as mesmas qualidades do fruto in natura.

A desidratação osmótica, juntamente com a secagem convectiva, é um processo que permite a obtenção de frutas com melhor estabilidade de cor, textura e aumento da vida de prateleira, em relação aos produtos convencionalmente secos e armazenados em temperatura ambiente (CÓRDOVA, 2006).

Utilizando métodos combinados de preservação, grande parte do conteúdo de água inicial pode ser removida do tecido do produto, permitindo a estabilidade do produto final durante o armazenamento, e conseqüentemente, evitando a deterioração do mesmo.

#### **2.4 – Secagem convectiva**

O processo da secagem baseia-se no conhecimento do conteúdo inicial e final (equilíbrio) do teor de água do material, da relação da água com a estrutura sólida e do transporte da água do interior do material até a sua superfície (PARK *et al.*, 2001).

A secagem convectiva, por sua vez, diminui consideravelmente o teor de água no produto, minimizando o crescimento de microrganismos e as reações de deterioração química, preservando o produto durante a estocagem, além de contribuir para a redução de custos de embalagem, transporte e armazenamento (MAYOR; SERENO, 2003).

Durante o processo de secagem, pode-se observar a diminuição das dimensões do produto, devido à alteração na microestrutura do tecido fresco, em que se verifica um aumento de cavidades, células alongadas, dentre outras modificações promovidas pelo stress térmico e, principalmente, pela remoção de água. A secagem é encerrada quando o produto atinge o teor de água de equilíbrio (LEWICKI; PAWLAK, 2003).

O conhecimento do efeito do pré-tratamento osmótico sobre a taxa de secagem por convecção pode auxiliar no estabelecimento das melhores condições operacionais deste sistema. As características de secagem de qualquer produto, incluindo a avaliação dos modelos matemáticos que melhor descrevem o processo, são importantes na seleção e desenvolvimento de equipamentos e no cálculo dos custos operacionais (DIONELLO *et al.*, 2009).

## 2.5 – Isotermas de sorção

Através das isotermas pode-se determinar a monocamada, a qual além de estar relacionada com o início de uma série de reações químicas de deterioração dos alimentos, representa o ponto de maior gasto de energia em um processo de secagem (ASSUNÇÃO; PENA, 2007).

Fellows (2006) descreve que a histerese é importante na determinação da proteção necessária contra o ganho de umidade. Também pode ser usada para estimar a possibilidade de deterioração por reações químicas e micro-organismos.

A isoterma de equilíbrio relaciona o teor de água do alimento e a umidade relativa do ar ambiente em que este se insere, sob determinada temperatura, possibilitando a obtenção do teor de água presente no material. Assim, o teor de água de equilíbrio do alimento em função da umidade relativa do meio, fornece informações muito úteis para os processos de secagem, preservação e acondicionamento do material (MARTINS *et al.*, 2004).

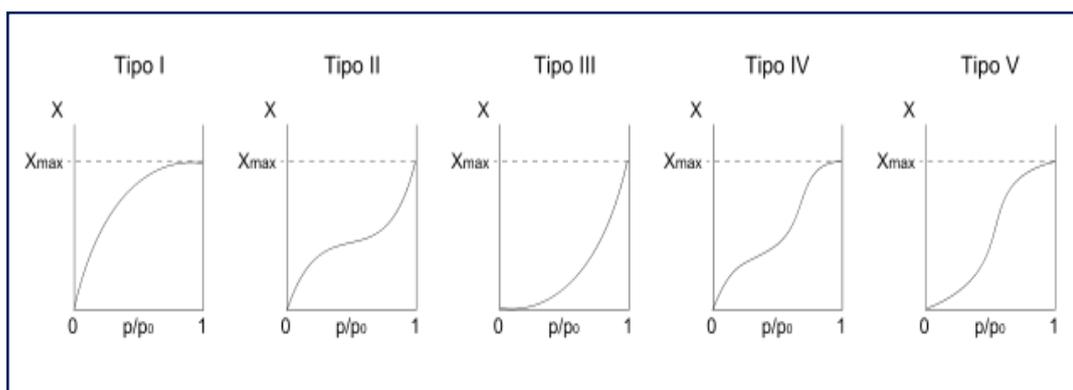
Através das isotermas de adsorção e dessorção de água podem-se resolver numerosos problemas de processamento e estocagem de alimentos, dentre os quais se podem destacar: a vida de prateleira e as melhores condições de armazenamento e embalagem para o produto. Pode-se ainda prever as características finais de um produto, quando o mesmo é constituído por ingredientes com diferentes valores de atividade de água ( $a_w$ ) (ASSUNÇÃO; PENA, 2007).

Segundo Bobbio e Bobbio (1985), as isotermas encontram importante aplicação prática no cálculo da atividade de água como, por exemplo, em mistura de componentes com

diferentes atividades de água; na estimativa do peso e área da camada primária; no estudo do tipo de embalagem mais adequada face à capacidade de adsorção de água pelo alimento; permitem, ainda, a predição do grau de desidratação do alimento frente à mudança na temperatura ambiente, durante o armazenamento.

De acordo com Faria (2012), as isotermas de adsorção são aquelas observadas em alimentos secos nos quais, quando mantidos em atmosfera com variação de umidade relativa crescente, ocorre ganho de peso. Através da construção de isotermas de adsorção de água, pode-se resolver numerosos problemas de processamento e estocagem de alimentos, entre os quais: predição do tempo de secagem, da vida de prateleira em determinada embalagem e dos requisitos básicos necessários para que se possa embalar um produto e, ainda, na caracterização de um produto, quando o mesmo é constituído por componentes de atividade de água diferentes (PENA *et al.*, 2000).

Segundo Iguedjtal (2008) existem na literatura alguns modelos propostos para descrever as isotermas de sorção, sendo classificados em categorias: modelos cinéticos baseados na teoria da monocamada (o modelo de BET), modelos cinéticos baseados na teoria de multicamadas (modelo de GAB) e modelos empíricos ou semi-empíricos (modelo de Oswin e modelo de Peleg). Brunauer *et al.* (1940) apresentou uma classificação qualitativa das isotermas de adsorção física, ilustradas na Figura 2.3



**Figura 2.3** - Classificação das isotermas de Brunauer (1940) (Fonte: SCHWANKE, 2003)

A isoterma tipo I é a mais comum. Sua configuração é característica de adsorventes microporosos devido ao tamanho dos poros do sólido, os quais não são muito maiores que o diâmetro molecular do sorbato. Com estes adsorventes, há um limite de saturação devido ao total preenchimento do poro por uma única molécula de adsorbato. As isotermas dos tipos II e III resultam de adsorventes, nos quais há uma extensa variação de tamanhos de poros. Esta variação permite ao adsorvente a capacitação de avançar de forma contínua de uma adsorção

monocamada para multicamada, seguida de condensação capilar. A formação de duas camadas superficiais adsorvidas é caracterizada pela isoterma do tipo IV, onde uma camada é encontrada sobre a superfície plana e a outra nas paredes de um poro cujo diâmetro é muito maior que o diâmetro molecular do sorbato. Uma curva isotérmica do tipo V é observada quando ocorre atrações entre as moléculas adsorvidas e as interações sorbato-superfície (SCHWANKE, 2003).

## 2.6 – Estado da arte

Silva *et al.* (2015) avaliaram a influência do pré-tratamentos osmóticos utilizando secagem convectiva complementar no processo de perda de água, ganho de sólidos e nos parâmetros de qualidade (cor, atividade de água e textura) do cladódios de palma forrageira. O cladódio foi submetido à desidratação osmótica utilizando soluções mistas contendo 5% de NaCl e concentrações de sacarose de 50 e 60 °Brix, em diferentes proporções palma/solução (1:1, 1:4 e 1:10) a 40 °C e a secagem foi realizada nas temperaturas de 50 e 60 °C. O cladódio de palma in natura desidratado foi caracterizado quanto aos parâmetros de cor, atividade de água e textura, com melhor resultados para cladódio desidratado a 50 °C, que apresentou melhor preservação da cor, maior resistência ao corte e menor atividade de água. Com relação a perda de massa e ganho de sólidos, observou-se que o aumento da perda de massa foi proporcional ao aumento da proporção cladódio/solução utilizada na desidratação osmótica, e o ganho de sólidos foi maior para a concentração de 50 °Brix. Dentre os modelos matemáticos utilizados (Page, Henderson e Pabis, Cavancanti Mata, Exponencial de Dois Termos e Midilli) para a cinética de secagem, o modelo matemático de Midilli foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais.

Em trabalho realizado por Silva *et al.* (2004) estudaram a aplicação dos modelos de Fick e Page na cinética de secagem de palma forrageira (*Opuntia ficus indica*) em estufa. Foram cortadas amostras medindo aproximadamente 6,0 x 6,0 cm. Realizaram-se ensaios variando a temperatura de secagem de 40 e 70 °C, e posteriormente, a aplicação dos modelos. Através dos dados obtidos os autores concluíram que o modelo de Page se ajustou melhor as temperaturas de 40 e 50 °C, com coeficiente de correlação acima de 0,99.

Lima (2006) estudou a secagem das polpas de facheiro obtidas das diferentes partes da planta (extremidade, meio e base) em estufa com circulação forçada de ar, nas temperaturas (50, 60 e 70 °C): a farinha seca foi armazenada em temperatura ambiente. Foram analisados os parâmetros físicos-químicos das amostras, também a cor e controle microbiológico de coliformes fecais, após o processamento e durante todo o período de

armazenamento, em intervalos de 20 dias. Determinaram-se as isotermas de adsorção de água da farinha, nas temperaturas (10 a 40 °C) por meio do método gravimétrico estático utilizando-se soluções saturadas de sais. Durante o armazenamento da farinha, a acidez total titulável, cinzas, proteínas, amido e fibras, sofreram reduções, enquanto o teor de água e o pH aumentaram. Nos parâmetros de cor da farinha armazenada a luminosidade sofreu redução e a intensidade de vermelho e de amarelo aumentou. Dos modelos utilizados para o ajuste da cinética de secagem, o de Midilli apresentou os maiores valores de  $R^2$  ajustando-se melhor aos dados experimentais. Nas isotermas de adsorção de água nas temperaturas (10 a 30 °C), o modelo de D'arcy proporcionou os menores desvios percentuais médios ( $P < 6\%$ ), e a 40 °C, o melhor ajuste foi conseguido com o modelo de Halsey ( $P = 4,93\%$ ).

Queiroz *et al.* (2007) avaliaram as características físico-químicas e sensoriais de goiabas *in natura*, submetidas a desidratação por imersão-impregnação e secagem por convecção e avaliou a estabilidade da cor dessas goiabas depois de 90 dias de armazenamento sob refrigeração. As amostras foram branqueadas e imergidas em solução de ácido ascórbico 1% por 5 min. Após o branqueamento e da imersão, retirou-se uma fração de cada fruto para as análises físico-químicas. As frações restantes das goiabas, foram desidratação por imersão-impregnação, nas soluções: sacarose (0,3; 0,4; 0,5 gm/L), sucralose (0,2 g/L), açúcar invertido (41% (p/p)) e xarope de açúcar invertido sem diluição, tendo-se empregado a relação fruta: xarope (1:10 (p/p)). Ao analisar as goiabas desidratadas verificou-se que o teor de sólidos solúveis totais aumentou linearmente em função do tempo de desidratação: as amostras não submetidas à desidratação por imersão-impregnação apresentaram maior alteração de cor do que aquelas previamente desidratadas. A secagem que inclui a desidratação por imersão impregnação resulta em produto sensorialmente mais aceito.

Fernandes *et al.* (2006) investigaram a desidratação osmótica de cubos de mamão em soluções de sacarose, otimizando o tempo total de processamento da desidratação osmótica seguida de secagem convectiva a 65 °C. O pré-tratamento osmótico reduziu significativamente o tempo total de processamento e, quando realizado em solução de concentração de 70 °Brix, a redução foi maior do que quando realizada em solução de 50 °Brix.

Farias (2012) analisou o processo de desidratação osmótica da polpa dos frutos de abacate da variedade Fortuna, como um processo mínimo para obtenção da fruta para consumo direto. A influência da temperatura e do branqueamento térmico sobre

propriedades de sorção da polpa de abacate foi avaliada por meio das isotermas às temperaturas (30, 50 e 70 °C). Ensaio de secagem determinaram o efeito do branqueamento térmico e da temperatura sobre a cinética de secagem convectiva com ar aquecido (50, 60 e 70 °C). Ensaio de desidratação osmótica de fatias de abacate em solução de sacarose com adição de ácido cítrico foram conduzidos para determinação da cinética do processo e caracterização físico-química do produto. Os modelos matemáticos de BET, GAB, Halsey, Henderson, Peleg e Oswin foram ajustados aos dados experimentais de sorção de água obtidos para abacate fresco e branqueado. Segundo a classificação de Brunauer, a forma das isotermas de desorção do abacate fresco e branqueado determinadas (30, 50 e 70 °C), são do tipo III. A cinética de secagem foi determinada observando-se a redução do conteúdo de água em função do tempo. Concluiu-se que a elevação da temperatura influencia positivamente a secagem, por aumentar consideravelmente a difusão, e que o branqueamento térmico não exerce efeito considerável sobre a difusividade da água nas temperaturas de secagem estudadas.

Córdova (2006) secando maçãs cultivar Fuji comerciais e industriais desidratadas osmoticamente, estudou condições que considerou como ideais, através de parâmetros de estabilidade do produto, como microbiológicos, atividade de água e parâmetros sensoriais, incluindo microscopia eletrônica de varredura do tecido vegetal, com a intenção de verificar o dano causado a ele pelos processos utilizados. As condições de secagem utilizadas foram 60 °C por 180 minutos, após a desidratação osmótica de cubos de maçã em soluções de sacarose 50% e sorbitol 50% a 30 °C em agitação de 110 rpm por 3 horas. Após a desidratação osmótica houve uma redução no teor de água de 60% e posteriormente a secagem a redução da atividade de água foi em média de 44,39%.

De acordo com Lewicki e Porzecka-Pawlak (2005), ao desidratarem cubos de maçã com xarope de sacarose, na concentração de 61,5 °Brix à temperatura de 30 °C por (30, 60, 120 e 180 minutos), verificaram que após 30 minutos de osmose houve aumento de aproximadamente 70% de matéria seca e redução de 48% de água.

Kowalska *et al.* (2008) realizaram estudo com branqueamento aplicado previamente à desidratação osmótica de cubos de abóboras: mostrou que o pré-tratamento não causou grandes danos ao tecido vegetal, já que a perda de água das amostras branqueadas e frescas submetidas às mesmas condições de desidratação osmótica foram similares. O tratamento térmico foi brando: 80 °C por 1 min, o que pode ter contribuído para estes resultados. Entretanto, a impregnação de açúcares nas amostras branqueadas durante a desidratação osmótica foi significativamente maior que nas frutas frescas.

Ao estudar a desidratação osmótica de cubos de batata doce em diferentes temperaturas e concentrações de solução de sacarose, Genina-Souto *et al.* (2001) verificaram que quanto maior a temperatura e a concentração, maior a perda de água da amostra e maior a absorção de sólidos solúveis.

### **3– MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 – Local de execução do experimento**

A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA), no Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande – PB.

#### **3.2 – Matéria-prima**

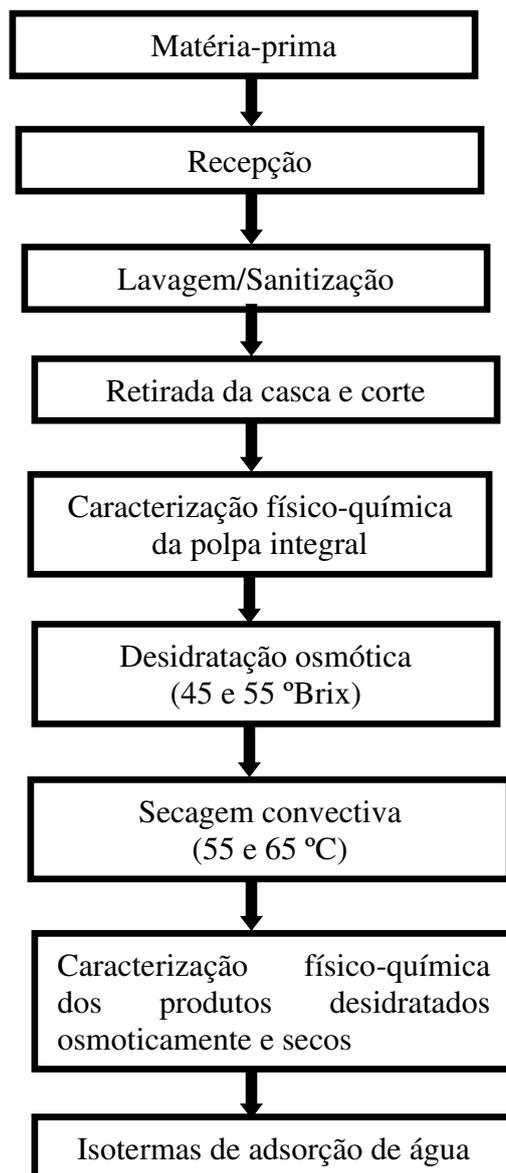
Os cladódios de palma foram provenientes do município de Aroeiras situada na microrregião de Campina Grande-PB. Utilizando como critério cladódios com 20 cm de comprimento da cultivar gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill).

#### **3.3 – Recepção**

Os cladódios foram acondicionados e conduzidos em recipientes isotérmicos para o Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), da Universidade Federal de Campina Grande, PB. Foram selecionados pelo tamanho, sem danos físicos e sem ataque de pragas, e submetidos a uma pré-lavagem em água corrente, para retirada de excesso de sujidades. Em seguida foram imersos em uma solução de hipoclorito de sódio a 50 ppm por 10 minutos para reduzir a carga microbiana: os mesmos foram cortados em formato de cubos com 2 cm de espessura, com o auxílio uma faca de aço inoxidável, sendo o cubo formado com o parênquima.

#### **3.4 – Processamento**

Nessa etapa, os cubos foram imersos na solução desidratante seguida de secagem convectiva. Após a secagem foi realizada a caracterização físico-química e isotermas de adsorção conforme na Figura 3.1



**Figura 3.1** – Etapas do processamento para obtenção dos parênquimas dos cladódios desidratados osmoticamente

### 3.5 – Caracterização físico-química da polpa integral

A polpa integral dos cladódios da palma foram caracterizados em triplicata quanto aos seguintes parâmetros: pH, sólidos solúveis totais (°Brix), acidez total titulável (%), relação SST/ATT, teor de água (% b.u.), cinzas (%) de acordo com as metodologias do Instituto Adolfo Lutz (2008).

Também foram determinados os parâmetros: ácido ascórbico (mg/100 g), atividade de água ( $a_w$ ), açúcares redutores (g/100 g), clorofila ( $\mu\text{g}/100\text{ g}$ ), carotenoides ( $\mu\text{g}/100\text{ g}$ ),

compostos fenólicos (g/100 g), flavonoides (mg/100 g), antocianinas (mg/100 g), proteína (%) e cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ), de acordo com as metodologias citadas no item 3.9.

### 3.6 – Desidratação osmótica

As soluções desidratantes foram preparadas com açúcar comercial, açúcar mascavo e água destilada até atingir os teores de sólidos solúveis desejados (45 e 55 °Brix). Os cubos do parênquima do cladódio de palma foram imersos nas soluções desidratantes contidas em recipientes específicos para cada concentração; em seguida, os recipientes foram mantidos em uma câmara tipo BOD na temperatura de 50 °C; dentro desses recipientes foram utilizadas cinco cestas com os cubos dos parênquimas dos cladódios de palma: três cestas continha as amostras para a determinação de perda de água e perda de massa, as quais foram pesadas periodicamente em intervalos de (0, 15, 30, 60...1065 min) até totalizando 17 hs e 75 minutos de desidratação osmótica. As outras duas cestas contendo as amostras foram separadas para a leitura de cor e atividade de água, a qual permaneceram até o final do processo osmótico, sendo a cor e a atividade de água determinadas no início e final do processo.

Para o cálculo dos percentuais de perda de água (PA), perda de massa (PM) e ganho de sólidos (GS) foi utilizado a massa inicial e final dos cubos dos parênquimas dos cladódios de palma e aplicada as Equações 3.1, 3.2 e 3.3 (GASPARETO, 2005).

$$PA = \frac{(U_0 - U_t)}{U_0} 100 \quad (3.1)$$

$$PM = \frac{M_0 - M_t}{M_0} \cdot 100 \quad (3.2)$$

$$GS = \frac{(M_t \cdot ST_t) - (M_0 \cdot ST_0)}{M_0} \quad (3.3)$$

Em que:

PA - perda de água (%);

PM - perda de massa (%);

GS - ganho sólidos (%);

$U_0$  - teor de água do fruto no tempo  $t=0$ ;

$U_t$  - teor de água do fruto tratado no tempo  $t$ ;

$M_0$  - massa do fruto no tempo  $t=0$  (g);

$M_t$  - massa do fruto tratado no tempo  $t$  (g);

$ST_0$  - sólidos totais no tempo  $t=0$ ; e

$ST_t$  - sólidos totais no tempo  $t$ .

Para a estimativa de perda de água, perda de massa e ganho de sólidos utilizou-se o programa computacional OriginPro 8, ajustando-se os modelos matemáticos exponenciais (Equação 3.4 e 3.5) aos dados experimentais de desidratação osmótica dos parênquimas dos cladódios de palma forrageira, desidratados com soluções de sacarose de açúcar cristal e açúcar mascavo nas concentrações de 45 e 55 °Brix, na temperatura de 50 °C. Para avaliação dos ajustes das equações aos dados experimentais utilizou-se o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio percentual médio (P) (Equação 3.6).

$$Y = a + b \cdot \exp(-kx) \quad (3.4)$$

$$Y = a_1 \cdot \exp\left(\frac{x}{t_1}\right) + a_2 \cdot \exp\left(\frac{x}{t_2}\right) + y_0 \quad (3.5)$$

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x_{\text{exp}} - x_{\text{pred}}|}{x_{\text{exp}}} \quad (3.6)$$

### 3.7 – Secagem convectiva

Após a etapa de desidratação osmótica, os cubos do parênquima dos cladódios foram retirados das soluções desidratantes (açúcar cristal e açúcar mascavo), enxugados com papel toalha e levados para a secagem convectiva nas temperaturas de 55 e 65 °C, com velocidade do ar de 1,5 m/s para cada produto.

Durante a secagem no secador convectivo de bandeja foi determinada a cinética de secagem dos cubos de cladódio de palma osmoticamente desidratados, os quais foram colocados em cestas de arame galvanizados e pesadas periodicamente, a cada cinco minutos e, posteriormente, em intervalos de 10, 30 e 60 minutos em balança digital (0,001 g) até atingir peso constante. As curvas de secagem foram traçadas com os dados da razão do teor de água (RX) (Equação 3.7) em função do tempo.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (3.7)$$

Em que:

RX - razão do teor de água do produto (adimensional);

X - teor de água do produto;

$X_i$  - teor de água inicial do produto; e

$X_e$  - teor de água de equilíbrio do produto.

Foram aplicados os modelos semi-teóricos de Midilli (Equação 3.8), Page (Equação 3.9), Henderson e Pabis (Equação 3.10) para determinação das curvas de secagem (Tabela 3.1).

**Tabela 3.1** - Modelos matemáticos utilizados na determinação das curvas de secagem

Designação do Modelo matemático	Modelo de secagem
Midilli	$RX = a. \exp(-k. t^n) + b. t$ (3.8)
Page	$RX = \exp(-k. t^n)$ (3.9)
Henderson e Pabis	$RX = a. \exp(-k. t)$ (3.10)

$RX$  - razão de água (adimensional);  $a$  - constante da equação;  $b$  - constante da equação;  $k$  - constante da equação;  $n$  - constante da equação;  $t$  - tempo (min)

Para se avaliar o ajuste dos modelos matemáticos foram utilizados o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio quadrático médio (DQM): quanto menor o valor de DQM, melhor será a representação do modelo empregado (Equação 3.11).

$$DQM = \sqrt{\sum (RX_{pred} - RX_{exp})^2} \quad (3.11)$$

Em que:

DQM: desvio quadrático médio;

$RX_{pred}$ : razão de água predito pelo modelo;

$RX_{exp}$ : razão de água experimental;

$n$ : número de observações.

Os modelos matemáticos semiteóricos de Midilli, Page, Henderson e Pabis foram ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem, por meio de análise de regressão não-linear, utilizando-se o programa computacional Statistica versão 5.0.

### 3.8 – Isotermas de adsorção de água

As isotermas de adsorção de água a 25 °C foram determinadas nos cubos dos parênquimas dos cladódios de palma desidratados osmoticamente e secos nas temperaturas de 55 e 65 °C, utilizando-se o método estático-indireto, descrito por Capriste e Rotstein (1982).

A atividade de água dos cubos dos parênquimas dos cladódios de palma foi verificada em equipamento AquaLab 3TE (Decagon). O teor de água de equilíbrio em base seca foi determinado pela relação entre a massa de água e a massa seca das amostras ( Equação 3.12).

$$X_{eq} = \frac{m_{eq} - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad (3.12)$$

Em que:

$X_{eq}$  – teor de água de equilíbrio em base seca, %;

$m_{eq}$  - massa da amostra no equilíbrio, g; e

$m_s$  - massa seca da amostra, g.

#### 3.8.1 – Modelos matemáticos

Os modelos de GAB, Oswin e Peleg (Tabela 3.2) foram ajustados as isotermas de adsorção de água dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos.

**Tabela 3.2** - Modelos matemáticos de ajuste de isotermas de adsorção de água

Modelo	Equação
GAB	$X_e = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)}$
Oswin	$X_e = a \left( \frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^b$
Peleg	$X_e = k_1 a_w^{n_1} + k_2 a_w^{n_2}$

Em que:

$X_e$  – teor de água de equilíbrio;

$a_w$  - atividade de água;

$X_m$  – teor de água na monocamada molecular;

C e K - parâmetros que dependem da temperatura e natureza do produto;

$k_1$ ,  $k_2$ ,  $n_1$ ,  $n_2$ , a e b - constantes dos modelos.

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos às isotermas de adsorção de água foram: o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio percentual médio (P), conforme a Equação (3.6).

### **3.9 – Caracterização físico-química dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos**

Os parênquimas dos cladódios da palma foram caracterizados, após serem osmodesidratados, quanto aos seguintes parâmetros: pH, sólidos solúveis totais (°Brix), acidez total titulável (%), relação SST/ATT, teor de água (% b.u), Cinzas (%) de acordo com as metodologias do Instituto Adolfo Lutz (2008).

Foram determinados os parâmetros: ácido ascórbico (mg/100 g), atividade de água ( $a_w$ ), açúcares redutores (g/100 g), clorofila ( $\mu\text{g}/100\text{ g}$ ), carotenoides ( $\mu\text{g}/100\text{ g}$ ), compostos fenólicos (g/100 g), flavonoides (mg/100 g), antocianinas (mg/100 g), proteínas (%) e cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  e  $C^*$ ). Todas as análises foram realizadas em triplicatas.

#### **3.9.1 – Atividade de água ( $a_w$ )**

A atividade de água foi verificada em equipamento Aqualab 3TE, da Decagon Devices a 25 °C.

#### **3.9.2 – Ácido ascórbico**

O ácido ascórbico foi determinado de acordo com a metodologia da AOAC (1997), modificada por Benassi e Antunes (1998), usando como solução extratora, o ácido oxálico na titulação da amostra, empregando-se o 2,6 diclorofenolindofenol sódio que dá a cor azul em solução alcalina e a cor rosa em solução ácida. Os resultados foram expressos em miligramas de ácido ascórbico por 100 g da amostra.

### 3.9.3 – Açúcares redutores

Foi determinado pelo método do ácido 3,5 dinitrosalicílico (DNS), descrito por (MILLER, 1959).

### 3.9.4 – Clorofila e carotenoides

Os teores de clorofila foram estimados como descrito por Lichthenthaler (1987), com adaptações. Utilizou-se 0,2 g da amostra macerados em 5 mL de acetona 80%, acrescido de 0,2 g de CaCO<sub>3</sub>; o extrato obtido foi centrifugado a 4000 rpm por 10 minutos; o sobrenadante coletado seguiu para realização de leitura a 470; 646,8 e 663 nm, em espectrofotômetro. Os teores de clorofilas e carotenoides foram definidos a partir das seguintes equações:

$$\text{Clorofila a} = [(12,21 \text{ Abs. } 663 - 2,81 \text{ Abs. } 646) / \text{massa (g)}] \times 100 / 1000 \quad (3.13)$$

$$\text{Clorofila b} = [(20,13 \text{ Abs. } 646 - 5,03 \text{ Abs. } 663) / \text{massa (g)}] \times 100 / 1000 \quad (3.14)$$

$$\text{Clorofila Total} = [(17,3 \text{ Abs. } 646 + 7,18 \text{ Abs. } 663) / \text{massa (g)}] \times 100 / 1000 \quad (3.15)$$

$$\text{Carotenoides} = [(1000 \text{ Abs. } 470 - 1,82 \text{ Ca} - 85,02 \text{ Cb}) / 198] \times 100 / 1000 \quad (3.16)$$

Em que:

Abs - absorbância

### 3.9.5 – Compostos fenólicos totais

Os compostos fenólicos foram estimados, a partir do método de Folin-Ciocalteu descrito por Waterhouse (2006): cerca de 1,0 g da amostra foi macerado em 3 mL de água destilada e completado o volume para 50 mL; o extrato foi filtrado em papel filtro. Utilizou-se 0,135 mL do cladódio macerado e filtrado com 1500 µL de água destilada e 100 µL do reagente Folin-Ciocalteu, seguido de agitação e repouso por 5 minutos. Após o tempo de reação, acrescentou-se 30 µL de carbonato de sódio a 20%, seguido de nova agitação e repouso em banho-maria a 40 °C, por 30 minutos. A curva padrão foi preparada utilizando-se ácido gálico (EAG) e os resultados foram expressos em mg 100/g de massa fresca.

### 3.9.6 – Flavonoides e antocianinas

Os flavonoides e as antocianinas foram determinados segundo a metodologia de Francis (1982). Para os flavonoides, as amostras foram maceradas em almofariz com 10 mL de etanol-HCl (1,5 N), na proporção de 85:15 (v/v) em ambiente escuro e deixados em repouso por 24 horas na geladeira. As amostras foram filtradas em papel de filtro e as leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 374 nm e calculada de acordo com a Equação 3.17.

$$\text{Flavonoides} = \text{fator de diluição} \times \text{absorbância} / 76,6 \quad (3.17)$$

Para a determinação das antocianinas, a leitura foi realizada em comprimento de onda a 535 nm, e calculados através da Equação 3.18.

$$\text{Antocianinas} = \text{fator de diluição} \times \text{absorbância} / 98,2 \quad (3.18)$$

### 3.9.7 – Cor

Os parâmetros de cor nos cladódios em cubos foram determinadas utilizando-se o espectrofotômetro Mini Scan Hunter Lab XE Plus, com iluminante D65, ângulo de observação de 10° e calibrado com placa padrão branca (X=80,5; Y=85,3; Z=90,0). O equipamento lê os seguintes parâmetros luminosidade ( $L^* = 0$  – preto; e  $L^* = 100$  – branco);  $a^*$  - transição da cor verde ( $-a^*$ ) para o vermelho ( $+a^*$ ); e  $b^*$  - transição da cor azul ( $-b^*$ ) para a cor amarela ( $+b^*$ ). A partir destes valores, calcularam-se os valores de croma ( $C^*$ ) (Equação 3.19).

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5} \quad (3.19)$$

### 3.9.8 – Análise dos dados

Para a análise estatística dos dados obtidos experimentalmente, foi utilizado o programa computacional ASSISTAT versão 7.7 Beta (SILVA; AZEVEDO, 2009). Os experimentos foram em delineamento inteiramente casualizados em esquema fatorial (2x2), com 2 soluções desidratantes (açúcar cristal e açúcar mascavo), duas temperaturas de secagem (55 e 65 °C) e três repetições. Para a comparação entre as médias foi utilizado o teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

## 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 – Caracterização físico-química dos parênquimas dos cladódios de palma

Na Tabela 4.1 estão expressos os valores médios e os desvios padrão dos parâmetros físico-químicos do parênquima dos cladódios da palma in natura.

**Tabela 4.1** – Valores médios e desvios padrão dos parâmetros físico-químicos da polpa integral dos cladódios da palma

Parâmetros	Média e desvio padrão
Atividade de água ( $a_w$ )	0,994 ± 0,00
pH	4,22 ± 0,01
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	0,17 ± 0,00
Sólidos solúveis totais (°Brix)	4,00 ± 0,00
Relação SST/ATT	22,92 ± 0,01
Ácido ascórbico (mg/100 g)	2,85 ± 0,00
Teor de água (% b.u.)	69,74 ± 0,11
Cinzas (%)	0,42 ± 0,01
Açúcares redutores (% glicose)	1,58 ± 0,12
Clorofila (mg/100 g)	1004,15 ± 3,91
Carotenóides (µg/100 g)	68,13 ± 2,97
Compostos fenólicos (g/100 g)	177,30 ± 2,20
Flavonóides (mg/100 g)	4,58 ± 0,05
Antocianinas (mg/100 g)	0,39 ± 0,02
Proteínas (%)	1,13 ± 0,14
Luminosidade (L*)	45,43 ± 0,20
Intensidade de verde (-a*)	-10,75 ± 0,10
Intensidade de amarelo (+b*)	37,38 ± 0,30
Cromaticidade (C*)	39,18 ± 0,32

De acordo com a Tabela 4.1, a polpa integral do cladódio de palma apresentou atividade de água ( $a_w$ ) de 0,99, resultado semelhante foi encontrado por Silva *et al.* (2015) para polpa de figo da índia (0,98). Santos *et al.* (2012), em seu estudo com palma forrageira na produção de enzimas celulolíticas, encontraram uma atividade de água de 0,95 a 0,98,

valores esses próximos aos encontrados nesse estudo. Segunda Gava *et al.* (2008), a atividade de água é o fator que mais influencia na alteração dos alimentos, por estar diretamente relacionada com o crescimento e a atividade metabólica dos microrganismos e com as reações hidrolíticas. A palma apresenta uma atividade de água elevada, o que favorece um ambiente propício para o desenvolvimento de microrganismos patogênicos: por esse motivo necessita-se utilizar tecnologias para prolongar a vida de prateleira dessa cultura.

Observa-se que o valor médio encontrado para o pH do parênquima do cladódio de palma foi de 4,22, sendo inferior ao valor encontrado por Barbosa *et al.* (2009) para os frutos de palma, cujo valor foi de 6,00. Pereira *et al.* (2012), ao avaliarem o efeito de diferentes fontes de esterco na produção de brotos de palma gigante para alimentação humana, encontraram valores médios de pH que variaram entre 4,49 e 4,57, valores próximos ao encontrado nesse estudo. É normal que as frutas sofram deterioração por mofo ou leveduras, devido ao fato desses microrganismos crescerem em pH menor que 3,5. A maior parte das verduras possui pH mais alto do que as frutas e, conseqüentemente, são mais susceptíveis à degradação por bactérias do que por fungos.

A acidez total titulável da polpa do cladódio de palma integral foi de 0,17% (ácido cítrico), valor superior foi encontrado por Pereira *et al.* (2013) para a palma irrigada e produzida em forma de sequeiro com valor de 4,4% (ácido cítrico) para ambos os tratamentos. Pereira *et al.* (2012), ao avaliarem brotos de palma gigante produzida utilizando fontes de esterco (bovino e ovino) e cinco níveis de concentração da solução nutritiva (12, 5, 25, 50, 75 e 100%), encontraram valores para acidez titulável entre 8,1 e 14,7% utilizando a concentração de 50%, para ambas as fontes de esterco. A acidez em produtos hortícolas é atribuída aos ácidos orgânicos. Os níveis de acidez em geral, não excedem 1,5 a 2,0% com exceções do limão e espinafre que podem conter teores acima de 3% (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Com relação aos teores de sólidos solúveis totais (SST) foi quantificado um teor de 4,0 °Brix, sendo inferior ao determinado por Pereira *et al.* (2013) para o broto da palma inteiro, que relataram valor médio de 7,2 °Brix, e próximo ao teor de sólidos solúveis totais da palma minimamente processada, que foi em torno de 3,7 °Brix, demonstrando que com a ruptura do tecido celular ocorre a redução na concentração de sólidos solúveis totais. Pereira *et al.* (2012), ao estudarem brotos de palma gigante utilizando diferentes fontes de esterco (bovino e ovino) nas concentrações (12,5, 25, 50, 75 e 100%), verificaram teores de sólidos solúveis totais entre 3,27 e 3,68 °Brix nas concentrações de esterco (75 e 12,5%) respectivamente. A presença de sólidos solúveis totais indica o grau de maturação sendo esse

atributo de grande importância para a comercialização de produtos hortícolas (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

A relação SST/ATT obtida ao analisar o cladódio de palma neste estudo foi de 22,92. De acordo com Maia *et al.* (2009), a relação sólidos solúveis totais/acidez total titulável varia entre 23,00 e 25,3%, sendo o parâmetro mais utilizado para indicar a maturação do fruto e definir critérios de qualidade, sobretudo na avaliação de sabor. Observa-se que o valor encontrado para o cladódio de palma está próximo a esta faixa.

O teor médio de ácido ascórbico encontrado neste estudo foi de 2,85 mg/100 g, mostrando-se inferior a valores obtidos por Pereira *et al.* (2013) que quantificou 5,5 mg/100 mL em brotos de palma gigante produzidos em sequeiro. Nunes *et al.* (2011), estudando a palma forrageira no semiárido nordestino, encontraram teor de ácido ascórbico de 11,0 mg/100 g em sua composição. Em estudo realizado por Cantwell (2001) no manejo pós-colheita de frutas e verdura de palma forrageira, o mesmo obteve um valor de 11,0 mg/100 g para a palma. De acordo com Chitarra e Chitarra (2005), o ácido ascórbico não é sintetizado pelo organismo humano, o que torna indispensável sua ingestão mediante dieta. O teor de vitamina C tende a diminuir com a maturação e com o armazenamento de muitos produtos hortícolas e pela ação de enzimas oxidantes.

O teor de água da polpa do cladódio de palma integral foi de 69,74%, valor inferior aos encontrados por Barbosa *et al.* (2014), que ao realizarem estudo exploratório da composição química dos cladódios da cactácea *A. berger* encontraram um teor de água de 88,7%. Farias (2013), ao avaliar a capacidade antioxidante de brotos de palma gigante, encontrou valores de teor de água que variaram entre 93 e 92%; Nunes *et al.* (2011), estudando a palma forrageira cultivada no semiárido nordestino, encontraram 91,0% na sua composição; Cantwell (2001), ao estudar o manejo pós-colheita de frutas e verdura de palma forrageira, quantificou na palma 91,0% de teor de água na sua composição. A palma é uma cultura que consegue armazenar uma grande quantidade de água: esse aspecto pode ser explicado pela capacidade que os brotos têm de armazenar água em seus vacúolos e pela superfície de revestimento que contém uma grossa camada de cutina, que previne a saída da água desses vegetais para a atmosfera (HILLS, 2001).

O teor de cinzas foi de 0,42%, sendo que valores superiores foram encontrados por Nunes *et al.* (2011) para a palma forrageira com 1,3% de minerais na sua composição. Ao estudar o manejo pós-colheita da palma forrageira, Cantwell (2001) verificou um teor de cinzas de 1,3%. Farias (2013) encontrou valor de 1,26% para a palma cultivar gigante. Essas

diferenças podem estar associadas as condições edafoclimáticas do local de cultivo do cladódio, adubos utilizados e formas de cultivos.

Os valores encontrados nesse estudo para os açúcares redutores foi em média de 1,58% de glicose. Farias (2013) reportou teor inferior de açúcares redutores, sendo de 0,57% para a cultivar gigante.

O teor de clorofila na polpa do cladódio de palma foi de 1004,15 mg/100 g. Farias (2013) quantificou em brotos de palma gigante teor de clorofila de 2,44 mg/100 g. Essa diferença pode ser explicada por vários fatores dentre eles: as condições de cultivo, horário da coleta, extração da amostra, tamanho/idade da planta, entre outros fatores.

O valor dos carotenoides encontrados nesse estudo foi de 68,13 µg/100 g, sendo inferior ao quantificado por Farias (2013) em brotos de palma da cultivar gigante, que foi de 130 µg/100 g. Nunes *et al.* (2011) e Gusmão *et al.* (2014) observaram um teor de carotenoides de 30,0 mg/100 g e 28,55 µg/100 g, respectivamente, sendo esses valores inferiores ao encontrado nesse estudo. Os carotenoides são pigmentos que variam da cor amarela a laranja ou vermelho, geralmente predominantes em frutas cítricas. A perda da cor verde é utilizada como um indicativo ou guia da maturidade, como também outros fatores podem influenciar na decomposição estrutural desses pigmentos tais como: mudanças no pH causadas principalmente pelo acúmulo de ácidos orgânicos e outros compostos nos vacúolos (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Com relação ao parâmetro compostos fenólicos, o valor foi de 177,30 g/100 g, sendo inferior ao verificado por Farias (2013) para os compostos fenólicos da palma forrageira gigante, que foi de 350 mg/100 g. De acordo com Chitarra e Chitarra (2005), os compostos fenólicos têm participação no sabor, na coloração, na vida de prateleira e na ação do produto como alimento funcional, notadamente correlacionado com a capacidade antioxidante.

De acordo com Huber e Rodriguez-Amaya (2008), os flavonoides são encontrados em frutas, verduras, hortaliças, sementes, flores, e seus produtos derivados, sendo importantes constituintes da dieta humana. Observa-se que o valor médio encontrado para os flavonoides neste estudo foi de 4,58 mg/100 g, inferior ao observado por Farias (2013) para brotos de palma da cultivar gigante que foi de 32,13 mg/100 g.

Quanto ao teor de antocianinas, o valor encontrado foi 0,39 mg/100 g. Segundo Chitarra e Chitarra (2005), a maioria das frutas e hortaliças de coloração vermelha, púrpura ou violeta, é rica em antocianinas. As antocianinas são compostos instáveis e sofrem descoloração por ação de sistemas enzimáticos sendo também degradada pelo oxigênio, e

sua decomposição é afetada pela temperatura, pH, presença de outros compostos fenólicos, açúcares e seus produtos de degradação, oxigênio, ácido ascórbico, luz e íons metálicos.

O teor médio de proteínas da palma forrageira foi de 1,13%. Resultado superior foi quantificado por Nunes *et al.* (2011). As proteínas são compostos poliméricos complexos, formados por moléculas orgânicas, e estão presentes em toda matéria viva e nos alimentos exercem várias e importantes propriedades funcionais, sendo responsáveis principalmente pelas características de textura (RIBEIRO, 2007).

De acordo com Chitarra e Chitarra (2005), a coloração é utilizada como parâmetro para a seleção de muitos produtos, para a quantificação dos pigmentos ou de outros constituintes, e pode promover uma melhor forma indicadora da qualidade. É de interesse que o produto apresente intensidade e uniformidade de coloração, a qual pode ser avaliada na casca e na polpa de frutas e hortaliças. Com relação aos parâmetros da cor, a luminosidade ( $L^*$ ) apresentou um valor de 45,43; a intensidade de verde ( $-a^*$ ) apresentou valor de -10,75; e a intensidade de amarelo ( $+b^*$ ) de 37,38. A leitura na escala  $-a^*$  confirma a presença da clorofila no parênquima.

Com relação ao croma ( $C^*$ ), que representa a intensidade da cor do alimento, o valor foi de 39,18. Alimentos que possuem um maior valor de  $C^*$  são mais atrativos ao mercado consumidor.

#### 4.2 – Cinética de desidratação osmótica

Na Tabela 4.2 estão dispostos os valores dos parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados aos dados experimentais da perda de água dos parênquimas dos cladódios de palma, durante a desidratação osmótica nas soluções de açúcar (mascavo e cristal) na temperatura de 50 °C.

Para as amostras desidratadas com os açúcares (cristal e mascavo) nas diferentes concentrações (45 e 55 °Brix), em que foi aplicada equações exponenciais para o ajuste aos dados experimentais da cinética de perda de água dos parênquimas dos cladódios de palma, observa-se que os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) variaram de 0,9527 a 0,9963 e os desvios percentuais médios (P) alternaram entre 2,79 a 11,00% para as concentrações aplicadas. Valor inferior de coeficiente de determinação foi verificado por Martins *et al.* (2008) ao desidratarem osmoticamente caju-do-cerrado com solução de açúcar refinado nas concentrações de 33, 40, 50, 60 e 67 °Brix, verificando para a cinética de desidratação que a

perda de água pode ser representada por uma equação de regressão múltipla apresentando coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 76%.

**Tabela 4.2** – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados aos dados de perda de água (%) dos parênquimas dos cladódios de palma desidratados osmoticamente

<b>Perda de água (%) – Açúcar cristal</b>							
SST (°Brix)	a	b	k	$R^2$	P (%)		
45	51,9304	43,4058	0,0043	0,9527	6,54		
SST (°Brix)	$y_0$	$a_1$	$t_1$	$a_2$	$t_2$	$R^2$	P (%)
55	171,81	-33,34	-97,03	-137,49	-3790,42	0,9963	2,79
<b>Perda de água (%) – Açúcar mascavo</b>							
SST (°Brix)	a	b	k	$R^2$	P (%)		
45	82,98	-77,97	0,0017	0,9858	8,39		
SST (°Brix)	$y_0$	$a_1$	$t_1$	$a_2$	$t_2$	$R^2$	P (%)
55	2017,44	-1005,98	-35897,69	1005,98	-35472,94	0,9535	11,00

Na Tabela 4.3 estão dispostos os valores dos parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados aos dados experimentais referentes a perda de massa dos parênquimas dos cladódios de palma, durante a desidratação osmótica nas soluções de açúcar (mascavo e cristal) na temperatura de 50 °C.

Para as amostras desidratadas com os açúcares cristal e mascavo nas diferentes concentrações (45 e 55 °Brix), em que foi aplicada equações exponenciais ajustadas aos dados experimentais da cinética de perda de massa dos parênquimas dos cladódios de palma, observa-se que os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) variaram de 0,9345 a 0,9695 e os desvios percentuais médios (P) oscilaram entre 5,66 a 10,62% para as concentrações aplicadas. 10%. Valor de coeficiente de determinação inferior foi verificado por Martins *et al.* (2008) ao realizarem a desidratação osmótica de caju-do-cerrado com soluções de açúcar nas concentrações de 33, 40, 50, 60 e 67 °Brix, constatando que os dados da cinética de

desidratação para perda de massa podem ser representados por uma equação de regressão múltipla com  $R^2$  de 82%.

**Tabela 4.3** – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados aos dados de perda de massa (%) dos parênquimas dos cladódios de palma desidratados osmoticamente

<b>Perda de massa (%) – Açúcar cristal</b>							
SST (°Brix)	a	b	k	$R^2$	P (%)		
45	64,86	65,75	0,0230	0,9345	5,66		
SST (°Brix)	$y_0$	$a_1$	$t_1$	$a_2$	$t_2$	$R^2$	P (%)
55	62,66	-30,73	-161,63	-32,40	-14,92	0,9409	6,54
<b>Perda de massa (%) – Açúcar mascavo</b>							
SST (°Brix)	a	b	k	$R^2$	P (%)		
45	61,43	-59,80	0,0149	0,9401	10,6 2		
SST (°Brix)	$y_0$	$a_1$	$t_1$	$a_2$	$t_2$	$R^2$	P (%)
55	55,86	-27,42	-218,94	-27,42	-218,94	0,9695	9,84

Na Tabela 4.4 estão dispostos os valores dos parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados aos dados experimentais referentes ao ganho de sólidos para os parênquimas dos cladódios de palma, durante a desidratação osmótica nas soluções de açúcar (mascavo e cristal) na temperatura de 50 °C.

Para as amostras desidratadas nas soluções desidratantes de açúcar (mascavo e cristal) nas diferentes concentrações de (45 e 55 °Brix), em que as equações exponenciais foram ajustadas aos dados experimentais da cinética de ganho de sólidos para os parênquimas dos cladódios de palma, percebe-se que os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) apresentaram valores variando entre 0,9310 a 0,9781 e os desvios percentuais médios (P) variando entre 5,98 a 10,78% para as concentrações aplicadas.

**Tabela 4.4** – Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados aos dados de ganho de sólidos (%) dos parênquimas dos cladódios de palma desidratados osmoticamente

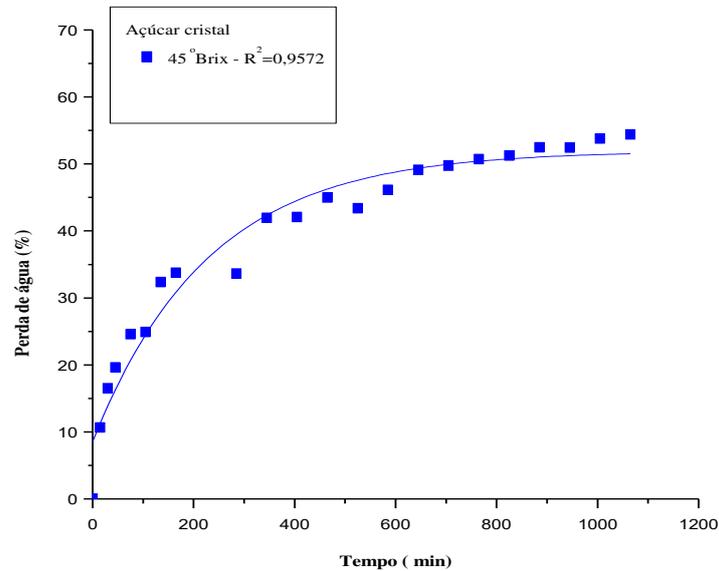
<b>Ganho de sólidos (%) – Açúcar cristal</b>							
<b>SST</b> <b>(°Brix)</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>k</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>P (%)</b>		
45	17,32	-15,46	0,0038	0,9423	8,34		
<b>SST</b> <b>(°Brix)</b>	<b>y<sub>0</sub></b>	<b>a<sub>1</sub></b>	<b>t<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>t<sub>2</sub></b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>P (%)</b>
55	34,60	-24,88	-1304,11	-10,13	-76,47	0,9538	8,08
<b>Ganho de sólidos (%) – Açúcar mascavo</b>							
<b>SST</b> <b>(°Brix)</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>k</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>P (%)</b>		
45	50,59	-46,15	6,03	0,9310	10,78		
<b>SST</b> <b>(°Brix)</b>	<b>y<sub>0</sub></b>	<b>a<sub>1</sub></b>	<b>t<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>t<sub>2</sub></b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>P (%)</b>
55	1,13	-7,39	-25,85	-1,13	6,70	0,9781	5,98

Martins *et al.* (2008), ao desidratarem osmoticamente caju-do-cerrado utilizando soluções de açúcar refinado (33, 40, 50, 60 e 67 °Brix), verificaram que uma equação de regressão múltipla pode representar os dados da incorporação de sólidos com  $R^2$  de 83%.

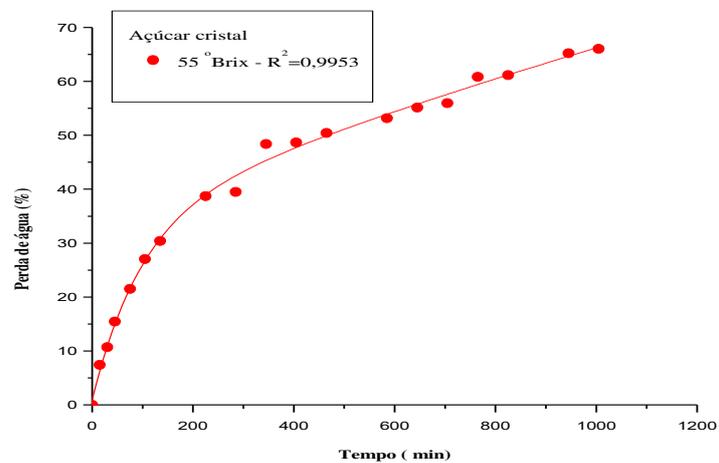
Nas Figuras 4.1 a 4.5 estão apresentadas as cinéticas de perda de água, perda de massa e ganho de sólidos durante a desidratação osmótica dos parênquimas dos cladódios de palma com duas soluções desidratantes (açúcar cristal e mascavo) nas diferentes concentrações (45 e 55 °Brix) e na temperatura de 50 °C.

Observa-se na Figura 4.1 que o parênquima do cladódio de palma desidratada com açúcar cristal na concentração 55 °Brix apresentou uma perda de água no tempo final avaliado mais acentuada (66,03%), quando comparado com a amostra desidratada na solução de 45 °Brix (54,41%). A rápida perda de água no início da desidratação deve-se a grande força motriz osmótica existente entre a seiva diluída da amostra fresca e o meio hipertônico, que vai diminuindo com o passar do tempo (LAZARIDIS *et al.*, 1997). Resultados semelhantes foram encontrados por Silva *et al.* (2015) ao desidratarem cladódios de palma forrageira, onde observaram que em todas as concentrações quanto maior a proporção

cladódio/solução, maior a perda de água, exceto para a proporção 1:1 da concentração de 60 °Brix, que obteve a maior perda de água. Bueno e Pereira (2015) analisaram caqui cv. Fuyu submetido à desidratação osmótica, sendo observado que quanto maior a concentração de sacarose, maior foi a perda de água das amostras.



a)

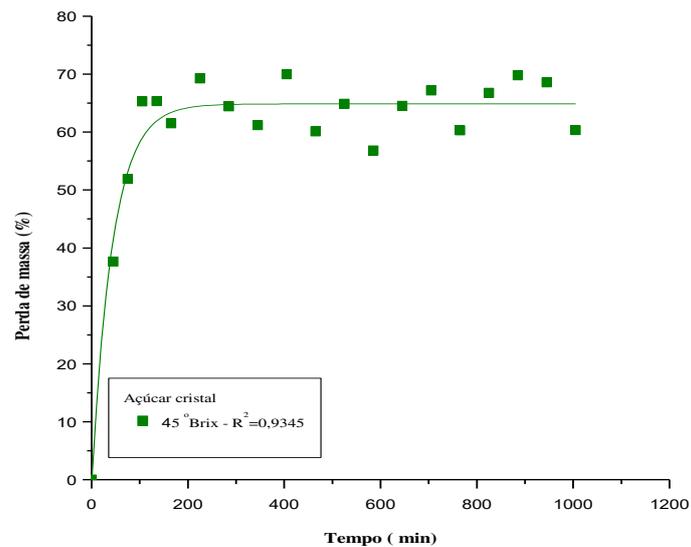


b)

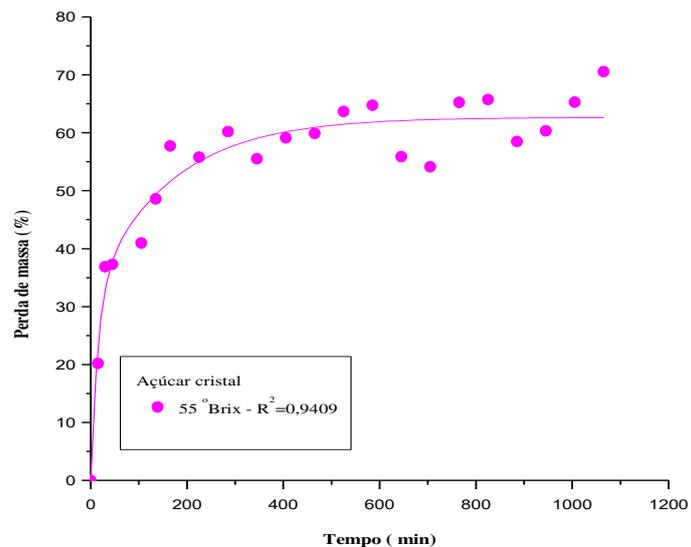
**Figura 4.1** - Curvas de desidratação osmótica da perda de água (%) dos parênquimas dos cladódios de palma durante a desidratação osmótica com açúcar cristal na temperatura de 50 °C: a) 45 °Brix; e b) 55 °Brix

Na Figura 4.2 tem-se a perda de massa dos cladódios durante a desidratação osmótica. Observa-se que na amostra tratada na solução desidratante com concentração de

55 °Brix ocorreu no tempo final a maior perda de massa de 70,53%, enquanto na concentração de 45 °Brix, no tempo final, a perda de massa foi de 60,33%: esse comportamento pode ser justificado, pois nessas condições ocorreu também uma maior perda de água. Germer *et al.* (2011), ao desidratarem osmoticamente pêssegos, observaram que o aumento da temperatura provocou uma maior perda de massa e uma maior concentração de sólidos solúveis.



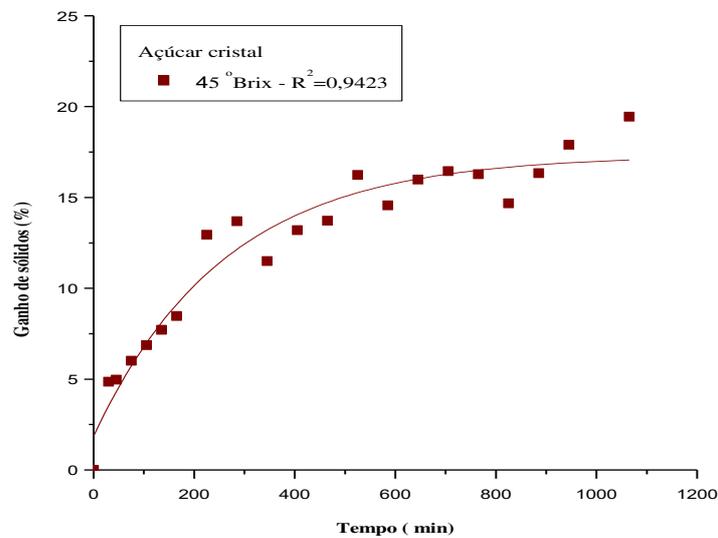
a)



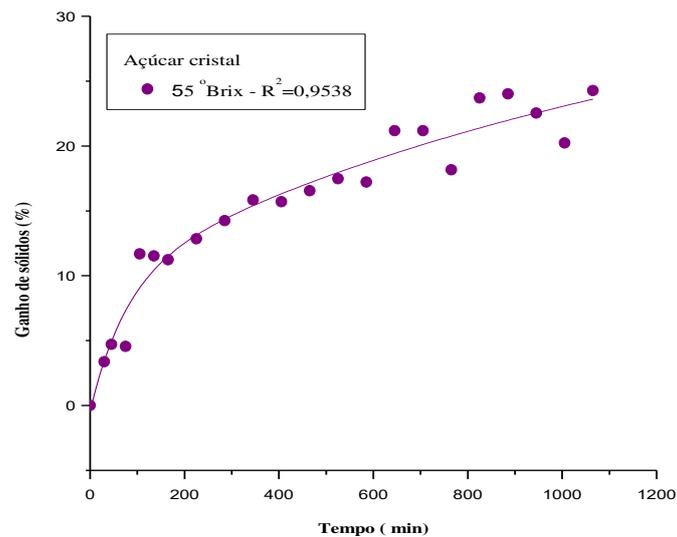
b)

**Figura 4.2** – Curvas de desidratação osmótica da perda de massa (%) dos parênquimas dos cladódios de palma durante a desidratação osmótica com açúcar cristal na temperatura de 50 °C: a) 45 °Brix; e b) 55 °Brix

O ganho de sólidos, na Figura 4.3, ocorreu de maneira gradativa, acompanhando o aumento da perda de água das amostras com a incorporação dos sólidos presentes na solução desidratante. No final da desidratação osmótica, a solução desidratante na concentração de 55 °Brix apresentou o maior ganho de sólidos (24,27%), em relação a concentração de 45 °Brix (19,44%). Comportamento semelhante foi verificado por Park *et al.* (2003) ao avaliarem a desidratação osmótica em cubos de pera nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70 °Brix e nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, sendo observado que o ganho de sólidos apresentou tendência de incremento com aumento da concentração de sacarose.



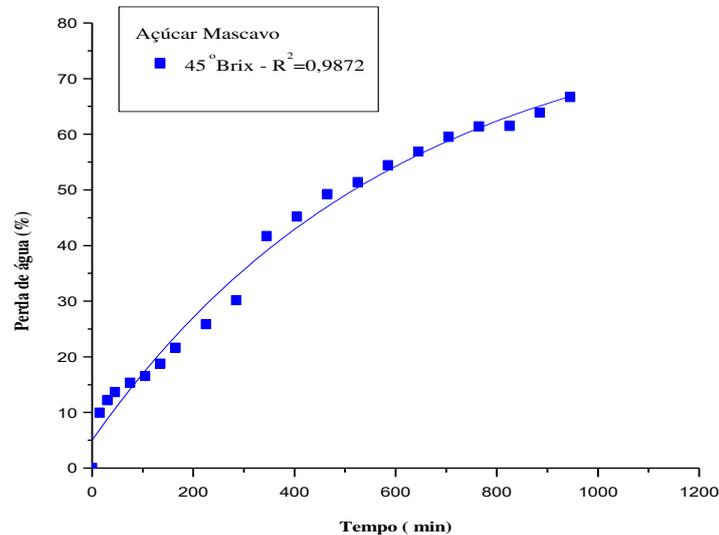
a)



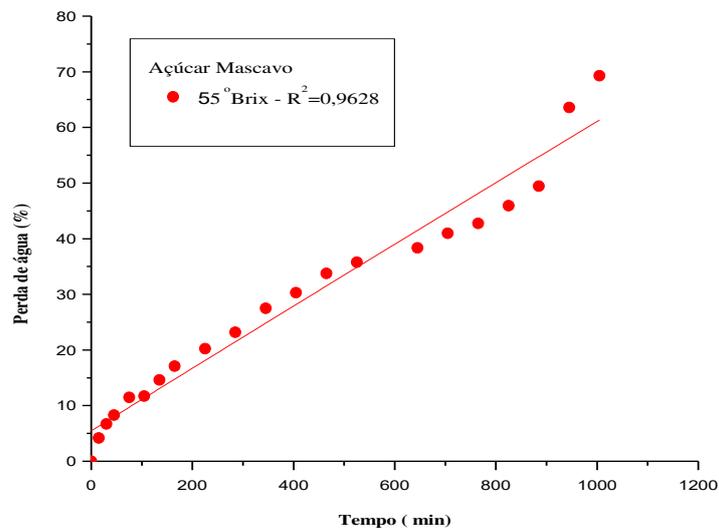
b)

**Figura 4.3** – Curvas de desidratação osmótica do ganho de sólidos dos parênquimas dos cladódios de palma durante a desidratação osmótica com açúcar cristal na temperatura de 50 °C: a) 45 °Brix; e b) 55 °Brix

Na Figura 4.4 tem-se a representação da perda de água na solução de açúcar mascavo em função do tempo de desidratação osmótica: verifica-se que esse fenômeno ocorre com maior intensidade durante as duas primeiras horas.



a)



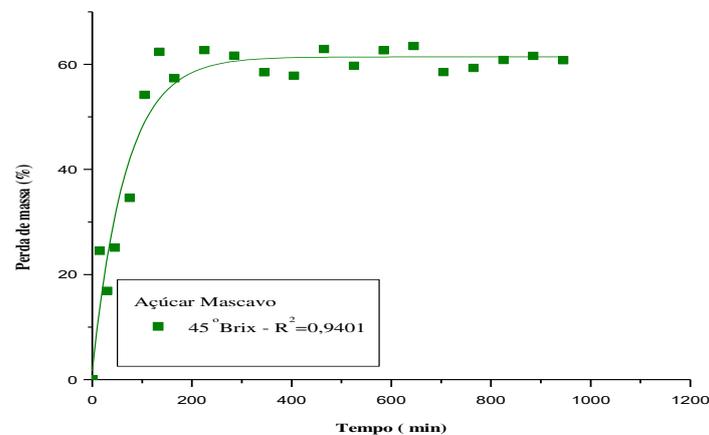
b)

**Figura 4.4** – Curvas de desidratação osmótica da perda de água (%) dos parênquimas dos cladódios de palma durante a desidratação osmótica com açúcar mascavo na temperatura de 50 °C: a) 45 °Brix; e b) 55 °Brix

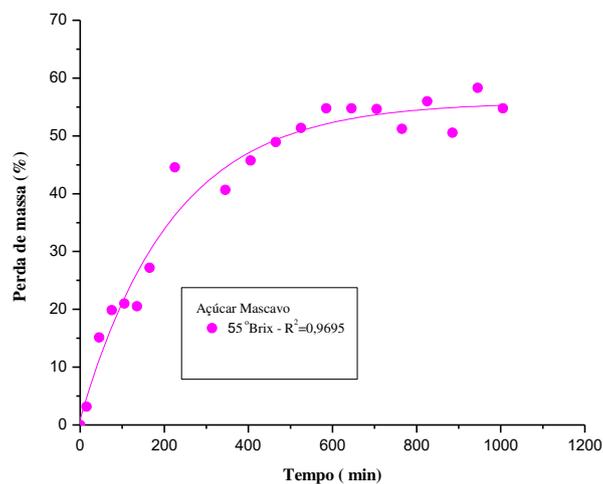
Observa-se que para as amostras tratadas com açúcar mascavo, a solução desidratante com a maior concentração proporcionou uma maior perda de água no tempo final (69,28%) e com a menor concentração proporcionou uma menor perda de água (66,67%). Shigematsu

*et al.* (2005), ao analisarem a influência do pré-tratamento sobre a desidratação osmótica de carambolas em fatias (revestindo-as com coberturas comestíveis [pectina ou pectina + amido], seguido de desidratação osmótica em solução aquosa de sacarose [50%, 27 °C]), constataram que o tratamento mais eficiente correspondeu à amostra sem cobertura. A aplicação dos revestimentos reduziu a perda de água do conjunto fruta-cobertura, mas não restringiu a entrada de solutos.

Tem-se na Figura 4.5, a perda de massa das amostras desidratadas em solução desidratante com açúcar mascavo.



a)

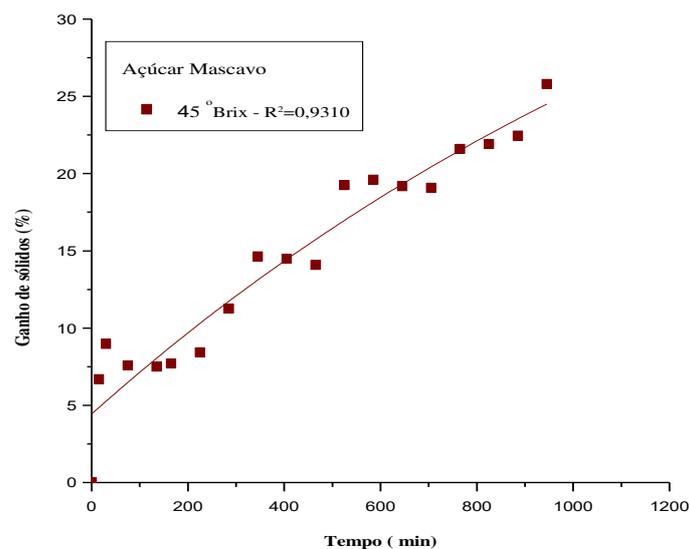


b)

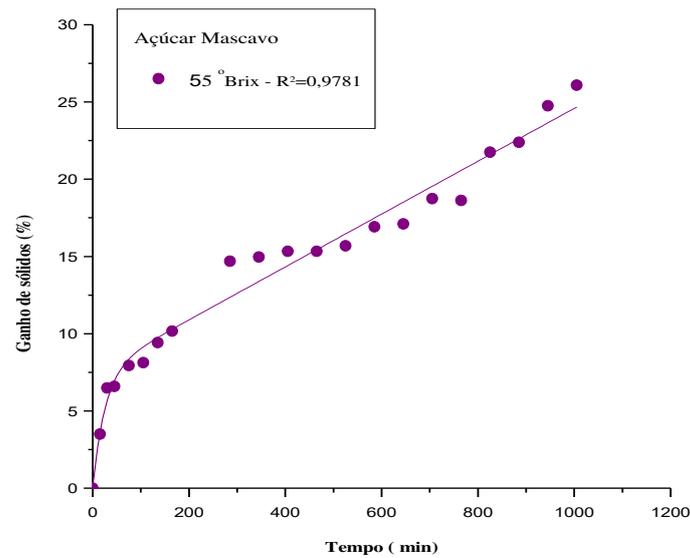
**Figura 4.5** – Curvas de desidratação osmótica da perda de massa (%) dos parênquimas dos cladódios de palma durante a desidratação osmótica com açúcar mascavo na temperatura de 50 °C: a) 45 °Brix; e b) 55 °Brix

Percebe-se que no final da desidratação na menor concentração de xarope (45 °Brix), a perda de massa foi de 60,80%, enquanto para a maior concentração (55 °Brix), a perda de massa foi de 54,76%. Este comportamento pode ser atribuído a formação de uma película ao redor da amostra na concentração mais alta, devido algumas características do açúcar mascavo que possui na sua composição melação da cana, que contém uma grande quantidade de minerais, podendo dificultar a difusão da água, influenciando na perda de massa. Queiroz *et al.* (2010), ao estudarem a transferência de massa na desidratação osmótica de goiaba em soluções de sacarose, sucralose e açúcar invertido, observaram que para a concentração de sacarose de 0,4 m/L houve uma perda de massa de 22,12% e, para a concentração de sacarose de 0,5 m/L, a perda de massa foi inferior com valor de 21,95%, comportamento semelhante ao observado nesse estudo.

Na Figura 4.6 é possível visualizar que a solução de açúcar mascavo na concentração de sacarose de 55 °Brix contribuiu para um maior ganho de sólidos durante a desidratação (26,09%), enquanto que as amostras tratadas na concentração de xarope de 45% o ganho de sólidos foi 25,80%. Observa-se que houve uma tendência de aumento do ganho de sólidos com o tempo de desidratação. Estes valores foram superiores ao quantificado por Martim *et al.* (2007) no estudo com manga Tommy Atkins desidratada osmoticamente com solução de sacarose, sorbitol e estévia, onde houve um ganho de sólido de 9,9% para as amostras tratadas na solução de sacarose.



a)



b)

**Figura 4.6** – Curvas de desidratação osmótica do ganho de sólidos (%) dos parênquimas dos cladódios de palma durante a desidratação osmótica com açúcar mascavo na temperatura de 50 °C: a) 45 °Brix; e b) 55 °Brix

### 4.3 – Cinética de secagem

Na Tabela 4.5 estão expostos os valores dos parâmetros dos modelos de Midilli, Page, Henderson e Pabis ajustados aos dados da secagem dos cladódios de palma osmodesidratados e secos na temperatura de 55 °C e velocidade do ar de 1,5 m/s, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios quadráticos médios (DQM). Observa-se que para as duas soluções desidratantes nas duas concentrações utilizadas (45 e 55 °Brix), os modelos de Midilli, Page e Henderson e Pabis se ajustaram bem aos dados experimentais apresentando coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 0,94 e desvios quadráticos médios (DQM) inferiores a 0,07. Entretanto, dentre estes modelos os melhores ajustes foi com o modelo de Midilli por apresentar os maiores  $R^2$  ( $\geq 0,9956$ ) e os menores DQM ( $\leq 0,0216$ ).

Resultados de ajustes satisfatórios aos modelos de secagem também foram obtidos por Lima *et al.* (2007) que observaram  $R^2 \geq 0,9966$  e valores de DQM  $< 0,04$  para o modelo de Midilli, ajustado as curvas de cinética de secagem em camada fina da polpa de facheiro; Silva *et al.* (2015), ao ajustarem os modelos de Midilli, Henderson e Pabis e Page as curvas de cinética secagem convectiva a 50 °C do cladódio da palma forrageira pré-desidratada

osmoticamente com soluções de sacarose a 50 °Brix em diferentes proporções palma/solução (1:1, 1:4 e 1:10), obtiveram  $R^2$  superiores a 0,9986 e valores de DQM inferiores a 3,21, sendo observado o melhor ajuste com o modelo de Midilli; Machado *et al.* (2012) com o modelo de Page ajustado a cinética de secagem de abacaxi cv. Pérola a 55 °C, os quais obtiveram  $R^2$  igual a 0,9990.

**Tabela 4.5** - Parâmetros dos modelos ajustados as curvas de secagem dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos na temperatura de 55 °C e velocidade do ar de 1,5 m/s, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM)

<b>Midilli</b>							
<b>Solução desidratante</b>	<b>SST (°Brix)</b>	<b>Parâmetros</b>				<b><math>R^2</math></b>	<b>DQM</b>
		<b>a</b>	<b>k</b>	<b>n</b>	<b>b</b>		
<b>Açúc. Cristal</b>	45	1,0040	0,0613	0,6712	0,000007	0,9989	0,0114
	55	1,0163	0,0588	0,6430	0,000005	0,9985	0,0137
<b>Açúc. mascavo</b>	45	0,9684	0,0952	0,5458	-0,000072	0,9956	0,0216
	55	0,9921	0,1563	0,4354	-0,000081	0,9984	0,0120

<b>Page</b>					
<b>Solução desidratante</b>	<b>SST (°Brix)</b>	<b>k</b>	<b>n</b>	<b><math>R^2</math></b>	<b>DQM</b>
	55	0,0551	0,6532	0,9984	0,0141
<b>Açúc. mascavo</b>	45	0,0946	0,5618	0,9937	0,0261
	55	0,1366	0,4761	0,9964	0,0182

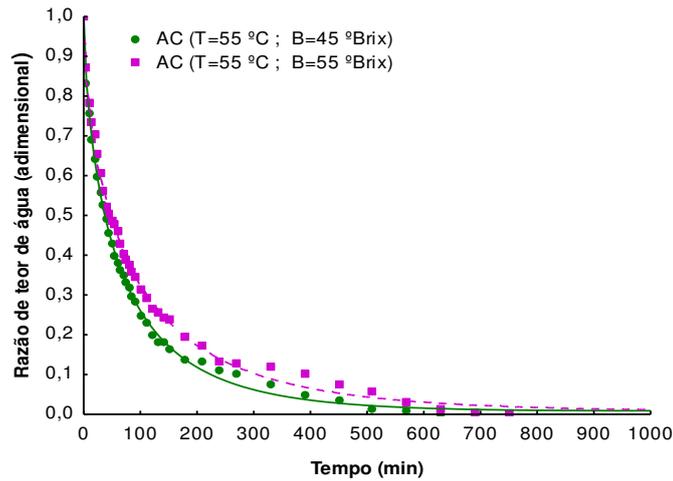
<b>Henderson e Pabis</b>					
<b>Solução desidratante</b>	<b>SST (°Brix)</b>	<b>a</b>	<b>n</b>	<b><math>R^2</math></b>	<b>DQM</b>
	55	0,8615	0,0098	0,9840	0,0453
<b>Açúc. mascavo</b>	45	0,7666	0,0098	0,9793	0,0470
	55	0,7135	0,0086	0,9586	0,0613

Para o parâmetro k, que representa a constante da taxa de secagem, observa-se que para os valores de k dos modelos de Midilli e Page houve decréscimo do mesmo com o aumento da concentração do açúcar cristal, e aumento de k com o aumento da concentração do açúcar mascavo. Uma hipótese para esse comportamento seria em razão que o açúcar mascavo é considerado um produto mais natural devido ao seu processamento ser mais simples com relação ao açúcar cristal: tal característica pode ter favorecido uma maior retirada de água livre presente na amostra otimizando dessa forma o processo de secagem.

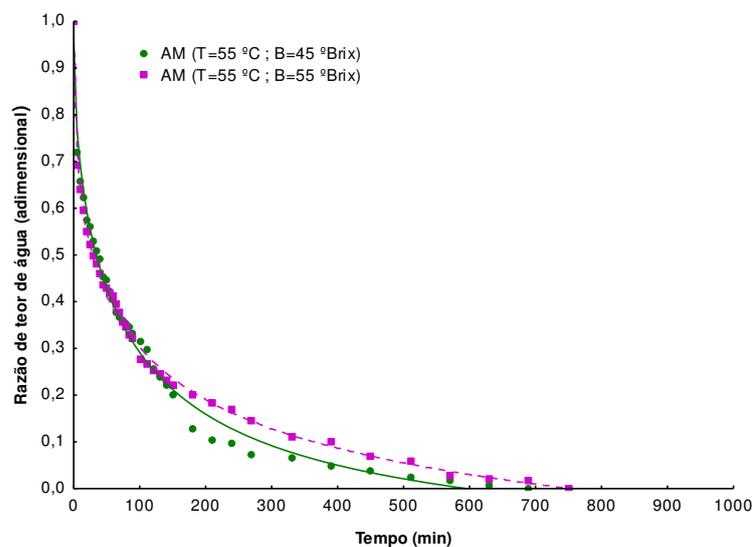
O parâmetro “n” para os modelos matemáticos de Midilli, Page, Henderson e Pabis apresentaram comportamento semelhante, havendo redução do mesmo com o aumento da concentração do açúcar cristal e do açúcar mascavo. Comportamento divergente foi constatado por Silva *et al.* (2015), ao desidratarem palma forrageira utilizando soluções mistas de sacarose e NaCl na temperatura de 50 °C, em que foi verificado que houve oscilações do parâmetro “n” nos modelos de Midilli e Page com o aumento da concentração da solução mista. A constante  $n$  reflete a resistência interna à secagem, sendo influenciada pela processo e condições externas ao qual as amostras foram impostas durante o período de secagem (PEREZ *et al.*, 2013).

Na Figura 4.7 encontra-se as curvas de secagem dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados com açúcar cristal (Figura 4.7a) e açúcar mascavo (Figura 4.7b), com diferentes concentrações (45 e 55 °Brix), secos na temperatura de 55 °C e velocidade do ar de 1,5 m/s, com ajuste pelo modelo de Midilli, considerado como o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais. Observa-se que a perda de água no início da secagem foi mais rápida e após 100 min foi mais lenta. No Apêndice A tem-se as figuras com os ajustes com os demais modelos testados.

Verificou-se que o tempo de secagem aumentou na maior concentração da solução desidratante: este comportamento pode ter ocorrido em razão de que quanto maior a concentração da solução maior a película exterior que se forma. No entanto, a saída da água do interior da amostra para o ambiente se torna mais demorada: consequentemente, houve um maior tempo de secagem para atingir o teor de água de equilíbrio. Bradão *et al.* (2003), ao analisarem cubos de manga submetidos à desidratação osmótica-solar, observaram que durante o processo de desidratação formou-se uma película na superfície dos cubos ocasionando dessa forma o aprisionamento da água livre dentro dos cubos.



(a)



(b)

**Figura 4.7** - Curvas de secagem convectiva dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados com açúcar cristal (A) e açúcar mascavo (B) com diferentes concentrações (45 e 55 °Brix) e secos na temperatura de 55 °C e velocidade do ar de 1,5 m/s, com ajuste pelo modelo de Midilli

O tempo de secagem para as amostras secas na temperatura de 55 °C com açúcar cristal com 45 °Brix foi de 690 min e com 55 °Brix foi de 750 min; e nas amostras tratadas com açúcar mascavo com 45 °Brix, o tempo necessário para atingir o teor de água de equilíbrio foi de 690 min e com 55 °Brix foi de 750 min. Diante destes tempos, nota-se que nesta temperatura não houve diferença entre os tempos de secagem para uma mesma concentração, mesmo as soluções tendo sido elaboradas com açúcares diferentes (cristal e mascavo), indicando não haver influência do tipo de açúcar para uma mesma concentração nesta temperatura. Tempos de secagem próximos foram verificados por Gaspareto (2005),

ao desidratar osmoticamente banana nanica com solução de sacarose nas concentrações de 50 e 70 °Brix, seguida da secagem em leito fixo nas temperaturas de 50 e 70 °C, sendo observado que na maior concentração o tempo de secagem foi reduzido em ambas as temperaturas; na concentração de 50 °Brix e a 50 °C, o tempo de secagem foi de 697 min e a 70 °C foi de 536 min; e na concentração de 70 °Brix a 50 °C, o tempo foi de 597 min e a 70 °C foi 404 min.

Constatou-se que as amostras da solução desidratante na menor concentração de (°Brix) ofertou uma secagem convectiva mais eficiente em um menor período de tempo. Esse comportamento se deve ao fato do cladódio de palma ter ficado com uma menor camada de açúcares na superfície facilitando a perda de água durante a secagem convectiva.

Na Tabela 4.6 estão expostos os valores dos parâmetros dos modelos de Midilli, Page, Henderson e Pabis ajustados aos dados da secagem dos cladódios de palma osmodesidratados e secos na temperatura de 65 °C e velocidade do ar de 1,5 m/s, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios quadráticos médios (DQM). Observa-se que para as duas soluções desidratantes nas duas concentrações utilizadas (45 e 55 °Brix), os modelos de Midilli, Page e Henderson e Pabis se ajustaram bem aos dados experimentais apresentando coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 0,96 e desvios quadráticos médios (DQM) inferiores a 0,06. Entretanto, dentre estes modelos, os melhores ajustes foi com o modelo de Midilli por apresentar os maiores  $R^2$  ( $\geq 0,9979$ ) e os menores DQM ( $\leq 0,0147$ ). Resultado semelhante foi observado por Lima *et al.* (2007) ao realizarem a cinética de secagem de polpa de facheiro nas temperaturas (50, 60 e 70 °C), utilizando os modelos matemáticos Henderson e Pabis, Page e Midilli, observaram que dentre os modelos aplicados o de Midilli apresentou os maiores  $R^2$  e os menores valores de DQM para as temperaturas estudadas. Em estudo realizado por Silva *et al.* (2015), com palma forrageira desidratada por osmo-convecção, foi constatado que tanto para as duas concentrações de sacarose (50 e 60 °Brix) como para as temperaturas (50 e 60 °C), o modelo de Midilli apresentou  $R^2 \geq 0,99$ ; no entanto, os DQM demonstraram inconstâncias para os tratamentos aplicados.

Verifica-se que o parâmetro “k” do modelo de Midilli, para os cladódios secados na temperatura de 65 °C, aumentou na maior concentração da solução desidratante nas amostras tratadas com o açúcar mascavo e com o açúcar cristal. Observa-se, ainda, ao comparar-se os valores de “k” do modelo de Midilli, para uma mesma concentração da solução e entre os tipos de açúcar que as amostras tratadas com açúcar mascavo, apresentaram maior valor em relação ao açúcar cristal.

**Tabela 4.6** - Parâmetros dos modelos ajustados as curvas de secagem dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos na temperatura de 65 °C e velocidade do ar de 1,5 m/s, coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) e desvios quadráticos médios (DQM)

<b>Midilli</b>							
<b>Solução desidratante</b>	<b>SST (°Brix)</b>	<b>Parâmetros</b>				<b>R<sup>2</sup></b>	<b>DQM</b>
		<b>a</b>	<b>k</b>	<b>n</b>	<b>b</b>		
<b>Açúc. cristal</b>	45	1,0108	0,1007	0,4987	-0,000190	0,9981	0,0142
	55	0,9964	0,0643	0,6485	-0,000031	0,9995	0,0074
<b>Açúc. mascavo</b>	45	0,9851	0,1078	0,5515	-0,000084	0,9979	0,0147
	55	0,9877	0,1191	0,5173	-0,000069	0,9985	0,0120

<b>Page</b>					
<b>Solução desidratante</b>	<b>SST (°Brix)</b>	<b>k</b>	<b>n</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>DQM</b>
	55	0,0620	0,6605	0,9993	0,0091
<b>Açúc. mascavo</b>	45	0,1012	0,5769	0,9964	0,0194
	55	0,1111	0,5426	0,9973	0,0163

<b>Henderson e Pabis</b>					
<b>Solução desidratante</b>	<b>SST (°Brix)</b>	<b>a</b>	<b>n</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>DQM</b>
	55	0,8452	0,0117	0,9878	0,0387
<b>Açúc. mascavo</b>	45	0,7802	0,0125	0,9775	0,0484
	55	0,7630	0,0111	0,9726	0,0522

Constata-se para o parâmetro “n” do modelo de Midilli, que para a amostra da solução de açúcar cristal com a intensificação da concentração de sólidos solúveis, o parâmetro k aumentou e na solução do açúcar mascavo, o comportamento foi inverso: diminuiu com o aumento da concentração.

Comparando-se o comportamento do parâmetro k do modelo de Midilli entre as temperaturas de secagem de 55 °C (Tabela 4.5) e 65 °C (Tabela 4.6) verifica-se, de maneira geral, que houve uma tendência de aumento de k com a elevação da temperatura para uma mesma condição de concentração e tipo de solução desidratante. Resultado semelhante foi observado por Silva *et al.* (2016) ao realizarem a cinética de secagem de polpa de carambola verificando que o parâmetro k, do modelo de Midilli e Kuck, aumentou com o incremento da temperatura entre 40 e 60 °C, e que quanto maior a temperatura do ar de secagem maior é a facilidade do produto em perder água livre. Castro *et al.* (2016), ao secarem polpa de *Annona squamosa* L. nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, constataram que com a elevação da temperatura o

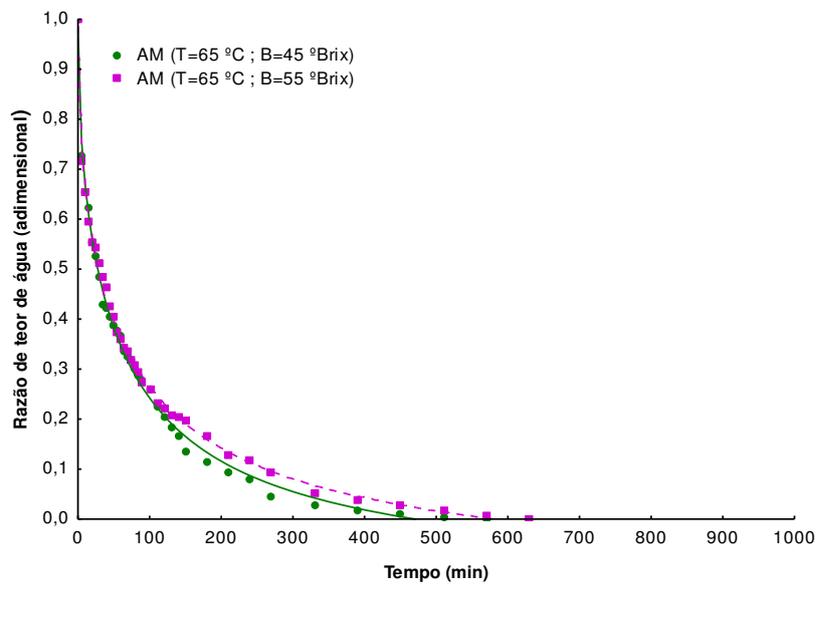
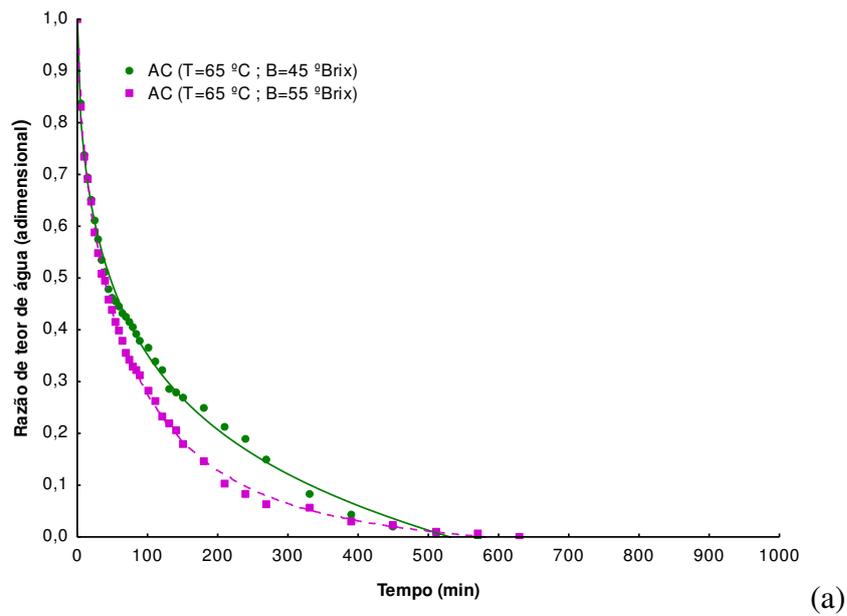
parâmetro  $k$  também aumentou. Perez *et al.* (2013), ao desidratarem polpa de cupuaçu utilizando duas soluções de sacarose, sendo uma binária (40% de sacarose) e uma ternária (80% de sacarose e 20% de cloreto de sódio) seguida de secagem em estufa a 65 °C, verificaram que para o modelo de Midilli o valor de  $k$  variou com solução desidratante aplicada.

Na Figura 4.8 tem-se as curvas de secagem dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados com açúcar cristal (Figura 4.8a) e açúcar mascavo (Figura 4.8b), com diferentes concentrações (45 e 55 °Brix) e secos na temperatura de 65 °C e velocidade do ar de 1,5 m/s, com ajustes pelo modelo de Midilli, considerado como o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais. No Apêndice A tem-se as figuras com os ajustes com os demais modelos testados.

O tempo de secagem para as amostras secas na temperatura de 65 °C com açúcar cristal com 45 °Brix foi de 570 min e com 55 °Brix foi de 630 min. Mota (2005), ao desidratar pêssegos osmoticamente com solução de sacarose comercial a 60 °Brix seguida de secagem em estufa com circulação forçada de ar, observou que dependendo da massa inicial o tempo da secagem em estufa variou de 1080 a 1440 min.

Com as amostras tratadas com açúcar mascavo com 45 °Brix, o tempo necessário para atingir o teor de água de equilíbrio foi de 570 min e com 55 °Brix foi de 630 min. Diante destes tempos nota-se que nesta temperatura não houve diferença entre os espaço de secagem para uma mesma concentração, mesmo as soluções tendo sido elaboradas com açúcares diferentes (cristal e mascavo), indicando não haver influencia do tipo de açúcar para uma mesma concentração nesta temperatura.

Percebe-se que a taxa de redução de água foi maior no início da secagem: esse comportamento foi observado para as duas soluções desidratantes e nas duas concentrações desidratantes. Comportamento semelhante também foi observado por El-Aouar *et al.* (2002) na cinética de secagem de mamão desidratado osmoticamente.



**Figura 4.8** - Curvas de secagem convectiva dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados com açúcar cristal (A) e açúcar mascavo (B) com diferentes concentrações (45 e 55 °Brix) e secos na temperatura de 65 °C e velocidade do ar de 1,5 m/s, com ajustes pelo modelo de Midilli

#### 4.4 – Caracterização físico-química dos parênquimas dos cladódios da palma osmodesidratados e secados em secador convectivo

Na Tabela 4.7, estão dispostos os valores médios da atividade de água ( $a_w$ ) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados, seguida de secagem em secador convectivo.

**Tabela 4.7** – Valores médios da atividade de água dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos

Açúcar	Temperatura (°C)	Atividade de água ( $a_w$ )	
		45 °Brix	55 °Brix
Mascavo	55	0,561 aB	0,673 aA
	65	0,490 bB	0,607 bA
Cristal	55	0,569 aB	0,646 aA
	65	0,548 bB	0,609 bA

Açúcar mascavo: MG = 0,583; CV = 0,94%; DMS para colunas = 0,010; DMS para linhas = 0,010; Açúcar cristal: MG = 0,593; CV = 1,02 %; DMS para colunas = 0,011; DMS para linhas = 0,011; MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação; DMS: Desvio mínimo significativo. Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, análise estatística aplicada separadamente para cada tipo de açúcar.

Verifica-se que os valores da atividade de água nas amostras secadas variaram de 0,490 a 0,673. Como o valor da atividade de água de 0,60 é considerada o limite para a multiplicação de microrganismos, nota-se que algumas amostras excederam este limite (mascavo 55 °C e 55 °Brix; cristal 55 °C e 55 °Brix) (FRANCO; LANDGRAF, 2008). Entretanto, de acordo com Oetterer *et al.* (2006), a redução da atividade de água com adição de solutos, como sal e açúcar, torna a água indisponível para a atividade microbiana.

Observa-se para as amostras tratadas com açúcar mascavo e com açúcar cristal, nas duas temperaturas (55 e 65 °C), que com o aumento da concentração da solução desidratante houve incremento da atividade de água. Analisando-se a influência da temperatura, constata-se tanto para o açúcar mascavo quanto para o cristal, nas duas concentrações das soluções, que houve redução da atividade com o aumento da temperatura de secagem convectiva. Indicando que na maior temperatura houve uma melhor perda de água, mostrando valores mais adequados para o armazenamento e menos susceptíveis a deterioração. Comportamento semelhante foi observado por Araujo (2005), que desidratou osmoticamente nectarina nas solução de sacarose comercial e xarope de milho (40 a 60 °Brix) seguida de secagem

convectiva nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, sendo observado também que a atividade de água reduziu com o aumento da temperatura de secagem e que as frutas tratadas com sacarose alcançaram os menores valores. Estes autores justificaram que este fato está relacionado com a entrada de soluto nas amostras durante o pré-tratamento o que reduz a quantidade de água livre presente nas amostras.

Na Tabela 4.8 tem-se os valores médios do pH dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados seguida de secagem em secador convectivo.

**Tabela 4.8** - Valores médios do pH dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos

Açúcar	Temperatura (°C)	pH	
		45 °Brix	55 °Brix
Mascavo	55	5,24	5,70
	65	5,72	5,80
Cristal	55	5,02	5,08
	65	5,71	5,88

Açúcar mascavo: MG = 5,6133; CV = 0,35%; DMS para colunas = 0,010; DMS para linhas = 0,010;

Açúcar cristal: MG = 5,1225; CV = 0,39 %; DMS para colunas = 0,011; DMS para linhas = 0,011;

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação; DMS: Desvio mínimo significativo.

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, análise estatística aplicada separadamente para cada tipo de açúcar.

Analisando-se a influência do aumento da concentração da solução desidratante, tanto para o açúcar mascavo quanto para o cristal em ambas as temperaturas, constata-se que houve um incremento do pH com o aumento da concentração da solução. Comportamento semelhante foi verificado por Brandão *et al.* (2003), após a desidratação osmótica de manga nas concentrações de sacarose de 45 e 55 °Brix, os quais obtiveram pH de 3,65 e 3,68, respectivamente; e por Queiroz *et al.* (2007) em goiaba desidratada por imersão-impregnação nas concentrações de sacaraose 0,4 g/mL e 0,5 g/mL, seguida de secagem convectiva que encontraram valores de pH de 3,97 e 4,06, respectivamente.

Com a incorporação do açúcares (cristal e mascavo) e a retirada da água livre dos parênquimas dos cladódios de palma houve um aumento do pH em relação ao produto in natura.

Na Tabela 4.9 encontram-se os valores médios de acidez total titulável dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos.

**Tabela 4.9** - Valores médios de acidez total titulável (% ácido cítrico) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos

Açúcar	Temperatura (°C)	Acidez total titulável (% ácido cítrico)	
		45 °Brix	55 °Brix
<b>Mascavo</b>	55	0,32 aA	0,20 aB
	65	0,26 bA	0,19 aB
<b>Cristal</b>	55	0,34 aA	0,33 aA
	65	0,26 bA	0,27 bA

Açúcar mascavo: MG = 0,24; CV = 2,33%; DMS para colunas = 0,01; DMS para linhas = 0,01;

Açúcar cristal: MG = 0,30; CV = 1,90 %; DMS para colunas = 0,01; DMS para linhas = 0,01;

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação; DMS: Desvio mínimo significativo

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, análise estatística aplicada separadamente para cada tipo de açúcar.

Observa-se que houve uma tendência de decréscimo da acidez com o aumento da temperatura de secagem nas soluções desidratantes (mascavo e cristal) em ambas concentrações 45 e 55 °Brix, exceto para as amostras desidratadas osmoticamente com açúcar mascavo, a 55 °Brix que mantiveram-se estatisticamente iguais.

Verifica-se para o açúcar mascavo, que nas duas temperaturas houve decréscimo da acidez total titulável com o aumento da concentração da solução; e para o açúcar cristal, não houve alteração significativa da acidez com o aumento da temperatura, mantendo-se constante. Comportamento contrário foi verificado por Brandão *et al.* (2003) que verificaram incremento da acidez com o aumento da concentração de sacarose (45 e 55 °Brix) em mangas submetidas à desidratação osmótico-solar, quantificando acidez nos cubos de manga de 0,75% e 0,77%, respectivamente. Mota (2005), ao analisar a qualidade de pêssegos submetidos à desidratação osmótica (DO) com açúcar comercial, observou acidez de 0,57% ácido cítrico após a DO; em seguida, os pêssegos desidratados osmoticamente foram submetidos a secagem em estufa com circulação forçada de ar, sendo observado uma acidez de 1,36% de ácido cítrico após a secagem.

A Tabela 4.10 apresenta os valores médios dos sólidos solúveis totais dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos.

**Tabela 4.10** - Valores médios dos sólidos solúveis totais (°Brix) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos

Açúcar	Temperatura (°C)	Sólidos solúveis totais (°Brix)	
		45 °Brix	55 °Brix
Mascavo	55	50,00 bB	60,00 bA
	65	60,00 aB	70,00 aA
Cristal	55	50,00 bB	70,00 aA
	65	60,00 aB	70,00 aA

Açúcar mascavo: MG=60,00; CV =1,52%; DMS para colunas =1,72; DMS para linhas =1,72;  
 Açúcar cristal: MG =62,50; CV = 1,60 %; DMS para colunas =1,88; DMS para linhas =1,88;  
 MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação; DMS: Desvio mínimo significativo  
 Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, análise estatística aplicada separadamente para cada tipo de açúcar.

Observa-se que houve um incremento significativo no teor de sólidos solúveis totais (°Brix) com o aumento da concentração da solução e com a elevação da temperatura, para as amostras tratadas na solução de açúcar mascavo e cristal. Comportamento semelhante foi verificado por Brandão *et al.* (2003) ao desidratarem osmoticamente mangas nas em soluções de sacarose com concentrações de 45 e 55 °Brix, seguida de secagem solar, sendo também observado um alto teor de sólidos solúveis totais na amostra osmodesidratada na maior concentração com teores de 66,86 °Brix e 74,00 °Brix, respectivamente. Mota (2005), avaliando a qualidade físico-química de passas de pêssigo submetidas à desidratação osmótica, verificou que ocorreu um incremento significativo dos sólidos solúveis totais (66,74 °Brix) após a secagem, quando comparado ao valor inicial. Este comportamento de aumento dos sólidos solúveis totais pode ser explicado pela absorção de sólidos solúveis totais das soluções de sacarose e por meio da concentração decorrida da perda de água durante a secagem.

Na Tabela 4.11 são apresentados os valores médios da relação entre os teores de sólidos solúveis totais e a acidez total titulável (SST/ATT) dos parênquimas dos cladódios de palma desidratados osmodesidratados e secos.

Os valores da relação sólidos solúveis totais e a acidez total titulável (SST/ATT) apresentaram tendência de redução, com o aumento da concentração de sacarose. Na solução

de açúcar mascavo, entre as temperaturas de 55 e 65 °C, houve diferença estatística entre as médias e também entre as concentrações de sacarose, também houve diferenças estatísticas entre as médias em ambas as temperaturas.

**Tabela 4.11** - Valores médios da relação SST/ATT dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos

Açúcar	Temperatura (°C)	SST/ATT	
		45 °Brix	55 °Brix
Mascavo	55	260,91 bA	225,92 aB
	65	297,96 aA	181,23 bB
Cristal	55	230,63 aA	225,68 aA
	65	212,08 bA	204,21 bB

Açúcar mascavo: MG = 253,75; CV = 0,92%; DMS para colunas = 4,39; DMS para linhas = 4,39  
 Açúcar cristal: MG = 218,15; CV = 1,38%; DMS para colunas = 5,64; DMS para linhas = 5,64;  
 MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação; DMS: Desvio mínimo significativo  
 Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, análise estatística aplicada separadamente para cada tipo de açúcar.

Para as amostras tratadas com o açúcar cristal, observa-se nas soluções com 45 e 55 °Brix uma redução da relação SST/ATT com o aumento da temperatura; e em cada temperatura, constata-se uma redução da relação com o aumento da concentração da solução. De acordo com Chitarra e Chitarra (2005), a relação SST/ATT é uma das formas mais utilizadas para a avaliação do sabor, essa relação dá uma boa ideia do equilíbrio entre esses dois componentes, devendo-se especificar o teor mínimo de sólidos e o máximo de acidez.

A Tabela 4.12 apresenta os valores médios do teor de ácido ascórbico dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos.

Com relação aos teores de ácido ascórbico, observa-se que após desidratação osmoconvectiva houve um incremento significativa no teor de ácido ascórbico das amostras. Nota-se que, para as amostras tratadas com açúcar mascavo e cristal, verifica-se um incremento do ácido ascórbico com o aumento da temperatura, nas duas concentrações. E com a elevação da concentração também houve um maior teor de ácido ascórbico em todas as temperaturas. Esse fato pode ser explicado pela formação de uma camada de sacarose na superfície das amostras, evitando assim a entrada de O<sub>2</sub> para o interior das células e, conseqüentemente, a redução da oxidação do ácido ascórbico. Comportamento semelhante foi constatado por Brandão *et al.* (2003) ao desidratarem cubos de manga osmoticamente

com concentrações de sacarose de 45 e 55 °Brix seguida de secagem solar: quantificaram, após estes dois processos, teores de ácido ascórbico de 82,96 e 96,83 mg/100 g, respectivamente, cujos valores mostraram-se superiores aos obtidos nesse estudo.

**Tabela 4.12** - Valores médios do teor de ácido ascórbico (mg/100 g) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos

Açúcar	Temperatura (°C)	Ácido ascórbico (mg/100 g)	
		45 °Brix	55 °Brix
Mascavo	55	4,72 bB	5,96 bA
	65	7,14 aB	7,88 aA
Cristal	55	4,75 bB	5,72 bA
	65	5,93 aB	6,79 aA

Açúcar mascavo: MG =6,42; CV =0,16 %; DMS para colunas = 0,01; DMS para linhas =0,01;

Açúcar cristal: MG =5,80; CV =0,36 %; DMS para colunas =0,03; DMS para linhas =0,03;

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação; DMS: Desvio mínimo significativo

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, análise estatística aplicada separadamente para cada tipo de açúcar.

De acordo com a RDC n.º. 269, de 22 de setembro de 2005 (BRASIL, 2005), que dispõe sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de vitamina C para um adulto que é de 45 mg, denotando que o cladódio de palma pode servir de complemento para suprir as necessidades desse nutriente.

Na Tabela 4.13 apresenta os valores médios do teor de água dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos.

Verifica-se que o aumento da temperatura acarretou em reduções estatisticamente significativas no teor de água das amostras tratadas com o açúcar mascavo e cristal. Bueno e Pereira (2015), estudando caqui cv. Fuyu submetido à desidratação osmótica seguida de secagem convectiva, observaram que as amostras desidratadas e secas na temperatura de 70 °C apresentaram uma redução mais efetiva do teor de água quando comparadas com as amostras secas na temperatura de 50 °C. Silva *et al.* (2015), estudando desidratação osmoconvectiva de palma forrageira com concentrações de 50 e 60 °Brix e nas temperaturas de 50 e 60 °C, constataram que o maior teor de água final foi observado na concentração de 50 °Brix e temperatura de 50 °C.

**Tabela 4.13** - Valores médios do teor de água (% b.u.) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos

Açúcar	Temperatura (°C)	Teor de água (% b.u.)	
		45 °Brix	55 °Brix
Mascavo	55	11,83 aA	10,62 aA
	65	8,47 bA	7,16 bA
Cristal	55	10,04 aA	9,58 aA
	65	9,56 aA	8,98 aA

Açúcar mascavo: MG =9,52; CV =9,62 %; DMS para colunas =1,72; DMS para linhas =1,72;

Açúcar cristal: MG =9,54; CV =11,55 %; DMS para colunas =2,07; DMS para linhas =2,07 ;

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação; DMS: Desvio mínimo significativo

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, análise estatística aplicada separadamente para cada tipo de açúcar.

Entretanto, com o aumento da concentração das soluções de sacarose não houve alteração significativa do teor de água, em todas as temperaturas. Em estudo realizado por Mota (2005) foi constatado em passas de pêsego, submetidas à desidratação osmótica e secagem convectiva, que houve no produto final um decréscimo no teor de água de 25,2%. Sousa *et al.* (2003), estudando goiaba desidratada osmoticamente com posterior secagem em estufa, encontraram um teor de água após o tratamento das amostra com um valor de 32,04%, onde as diferenças entre os valores podem ser atribuídas ao tempo de processo.

Na Tabela 4.14 tem-se os teores de cinzas dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos. Para as amostras tratadas com açúcar mascavo, observa-se que apenas para a temperatura de 65 °C ocorreu um incremento estatisticamente significativo no teor de cinzas, com o aumento da concentração da solução desidratante. Fato inverso foi observado para a solução de açúcar cristal nestas mesmas condições. Comportamento semelhante foi precensiado por Castro (2015) ao avaliar o teor de cinzas de goiaba desidratada osmoticamente seguida de secagem convectiva, sendo verificado que o tratamento osmótico seguido de secagem provocou um aumento considerável no percentual de minerais. Elias *et al.* (2008) ao desidratarem caqui cv. Fuyu submetido à desidratação osmótica e secagem convectiva, também constataram que o valor das cinzas aumentou em cerca de 94% após a desidratação das amostras.

**Tabela 4.14** - Valores médios de cinzas (%) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos

Açúcar	Temperatura (°C)	Cinzas (%)	
		45 °Brix	55 °Brix
Mascavo	55	1,25 bA	1,39 bA
	65	1,55 aB	1,94 aA
Cristal	55	0,99 aA	0,94 aA
	65	0,93 aA	0,61 bB

Açúcar mascavo: MG =1,53; CV =6,97 %; DMS para colunas =0,20; DMS para linhas = 0,20;

Açúcar cristal: MG =0,87; CV =8,78 %; DMS para colunas =0,14; DMS para linhas =0,14;

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação; DMS: Desvio mínimo significativo

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, análise estatística aplicada separadamente para cada tipo de açúcar

Na Tabela 4.15 tem-se os valores médios dos açúcares redutores dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos.

**Tabela 4.15** - Valores médios de açúcares redutores (g/100 g) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos

Açúcar	Temperatura (°C)	Açúcares redutores (g/100 g)	
		45 °Brix	55 °Brix
Mascavo	55	5,85 aA	6,69 bA
	65	6,27 aB	10,42 aA
Cristal	55	6,34 aA	8,47 bA
	65	9,60 aB	15,59 aA

Açúcar mascavo: MG = 7,30; CV = 17,62%; DMS para colunas = 2,42; DMS para linhas = 2,42;

Açúcar cristal: MG = 10,00; CV = 22,99%; DMS para colunas = 4,32; DMS para linhas = 4,32;

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação; DMS: Desvio mínimo significativo

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, análise estatística aplicada separadamente para cada tipo de açúcar

Os açúcares redutores (AR) foram maiores nas amostras tratadas com açúcar cristal, em relação às tratadas com açúcar mascavo. Tanto no tratamento com açúcar mascavo como no tratamento com açúcar cristal, apenas as amostras com 55 °Brix apresentaram aumento significativo com o aumento da temperatura. Nos demais casos, não houve diferenças significativas. Valores de AR superiores foram constatados por Brandão *et al.* (2003) ao

trabalharem com cubos de manga desidratadas osmoticamente com xaropes de sacarose (45 e 55 °Brix) seguida de secagem solar, quantificando valores de açúcares redutores de 16,26 e 15,37% de glicose, respectivamente.

Na Tabela 4.16 tem-se os teores de clorofila total dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos.

**Tabela 4.16** - Valores médios de clorofila total ( $\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos

Açúcar	Temperatura (°C)	Clorofila ( $\mu\text{g}/100\text{ g}$ )	
		45 °Brix	55 °Brix
<b>Mascavo</b>	55	653,78 aA	771,61 aA
	65	797,62 aA	1099,80 aA
<b>Cristal</b>	55	774,16 bB	1049,07 bA
	65	1329,47 aB	2124,26 aA

Açúcar mascavo: MG = 830,70; CV = 44,31%; DMS para colunas =692,85; DMS para linhas = 692,85; Açúcar cristal: MG = 1319,24; CV= 6,65%; DMS para colunas =165,22; DMS para linhas = 165,22; MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação; DMS: Desvio mínimo significativo  
Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, análise estatística aplicada separadamente para cada tipo de açúcar

Para as amostras tratadas com açúcar mascavo, não ocorrem diferenças estatisticamente significativas entre as médias, nem na alta concentração de sacarose, nem com a elevação da temperatura. Ao contrário, com as amostras desidratadas com açúcar cristal ocorreram aumentos nos teores de clorofila com o aumento da temperatura e com o aumento da concentração de sacarose.

Verifica-se que as amostras tratadas com a solução com a concentração de 55 °Brix preservou melhor a clorofila das amostras tratadas com açúcar cristal, apresentando os maiores valores. O açúcar cristal manteve em melhores condições a clorofila, com valores superiores ao das amostras tratadas com açúcar mascavo.

Na Tabela 4.17 são apresentados os valores médios dos carotenoides dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos. Observam-se valores superiores de carotenoides para as amostras tratadas com açúcar mascavo, em relação às amostras desidratadas com açúcar cristal. Nas amostras com açúcar mascavo e açúcar cristal ocorreu aumentos estatisticamente significativos no teor de carotenoides com o aumento da

temperatura. Quando alguns produtos são desidratados osmoticamente submetidos a secagem convectiva há a concentração de alguns bioativos.

**Tabela 4.17** - Valores médios de carotenoides ( $\mu\text{g}/100\text{ g}$ ) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos

Açúcar	Temperatura (°C)	Carotenóides ( $\mu\text{g}/100\text{ g}$ )	
		45 °Brix	55 °Brix
Mascavo	55	156,66 bA	171,26 bA
	65	291,84 aA	309,07 aA
Cristal	55	49,98bB	67,55 bA
	65	86,74aB	262,49aA

Açúcar mascavo: MG =232,21; CV =6,83%; DMS para colunas = 29,84; DMS para linhas =29,84;

Açúcar cristal: MG =116,69; CV = 6,66%; DMS para colunas =14,62; DMS para linhas =14,62;

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação; DMS: Desvio mínimo significativo

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, análise estatística aplicada separadamente para cada tipo de açúcar

Não verifica-se diferenças estatísticas entre 45 e 55 °Brix, para as amostras desidratadas com açúcar mascavo; para as amostras tratadas com açúcar cristal ocorreu aumento dos carotenoides, com o aumento da concentração do açúcar cristal.

El-Aouar *et al.* (2002), ao analisarem a influência do pré-tratamento osmótico na qualidade de mamão formosa seco, observaram que o pré-tratamento utilizado reduziu significativamente as perdas de carotenoides nas amostras secas em altas temperaturas. Araujo (2005), estudando nectarina desidratada osmoticamente em soluções de sacarose comercial e xarope de milho seguida de secagem nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, observou que o aumento da temperatura ocasionou menores perdas no conteúdo de carotenóides. Esse comportamento foi explicado pelo menor tempo de exposição ao calor que as amostras foram submetidas na maior temperatura, uma vez que o tempo de secagem para estas amostras foi menor, ocasionando com isso uma menor degradação.

Na Tabela 4.18 são apresentados os valores médios dos compostos fenólicos dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos.

**Tabela 4.18** - Valores médios dos compostos fenólicos (mg/100 g) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos

Açúcar	Temperatura (°C)	Compostos fenólicos (mg/100 g)	
		45 °Brix	55 °Brix
Mascavo	55	210,48 bA	209,85 aA
	65	280,33 aA	202,48 bB
Cristal	55	163,75 bA	143,79 aB
	65	178,79 aA	140,55 aB

Açúcar mascavo: MG =225,75; CV = 1,49 %; DMS para colunas =6,34; DMS para linhas =6,34;  
 Açúcar cristal: MG =156,72; CV =1,27 %; DMS para colunas =3,75; DMS para linhas =3,75;  
 MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação; DMS: Desvio mínimo significativo  
 Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, análise estatística aplicada separadamente para cada tipo de açúcar

Houve um decréscimo no teor de compostos fenólicos com o aumento da concentração do açúcar cristal nas duas temperaturas; para o açúcar mascavo este decréscimo ocorreu apenas na temperatura de 65 °C. Com relação ao aumento da temperatura, constata-se que para os xaropes com 45 °Brix na temperatura de 65 °C obteve-se os maiores valores; enquanto para o xarope de açúcar mascavo, com 55 °Brix na temperatura de 65 °C, obteve-se o menor valor.

Percebe-se que as amostras tratadas com açúcar mascavo apresentaram valores superiores de compostos fenólicos com relação as amostras tratadas com açúcar cristal.

Na Tabela 4.19 tem-se os teores dos flavonoides dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos. Para as amostras tratadas com açúcar mascavo, nas duas concentrações de sacarose, observa-se que na maior temperatura o teor de flavonoides foi superior ao da temperatura de 55 °C; e nas amostras tratadas com açúcar cristal, esse comportamento se repetiu apenas no xarope a 55 °Brix.

Com relação ao aumento da concentração de sacarose, verifica-se que em todas as temperaturas houve redução dos flavonoides.

**Tabela 4.19** - Valores médios de flavonoides (mg/100 g) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos

Açúcar	Temperatura (°C)	Flavonóides (mg/100 g)	
		45 °Brix	55 °Brix
Mascavo	55	28,66 bA	16,46 bB
	65	41,15 aA	31,64 aB
Cristal	55	12,68 aA	9,87 bB
	65	12,74 aA	10,70 aB

Açúcar mascavo: MG =29,48; CV =1,57%; DMS para colunas = 0,72; DMS para linhas = 0,87;  
 Açúcar cristal: MG =11,50; CV =1,14%; DMS para colunas = 0,24; DMS para linhas = 0,24;  
 MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação; DMS: Desvio mínimo significativo  
 Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, análise estatística aplicada separadamente para cada tipo de açúcar.

Na Tabela 4.20 são apresentados os valores médios de antocianinas dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos. Valores superiores de antocianinas são observados nas amostras tratadas com açúcar mascavo nas duas concentrações de sacarose e em ambas as temperaturas.

**Tabela 4.20** - Valores médios de antocianinas (mg/100 g) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos

Açúcar	Temperatura (°C)	Antocianinas (mg/100 g)	
		45 °Brix	55 °Brix
Mascavo	55	2,35 bA	1,77 aB
	65	2,75 aA	1,91 aB
Cristal	55	1,65 bA	0,93 aB
	65	1,74 aA	0,75 bB

Açúcar mascavo: MG = 2,22; CV = 3,51%; DMS para colunas =0,14; DMS para linhas =0,14;  
 Açúcar cristal: MG = 3,52; CV =1,22%; DMS para colunas =0,08; DMS para linhas = 0,08;  
 MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação; DMS: Desvio mínimo significativo  
 Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, análise estatística aplicada separadamente para cada tipo de açúcar

Os maiores teores de antocianinas foram verificados na temperatura de 65 °C para os dois tipos de açúcar, exceto nas amostras tratadas na concentração de sacarose de 55 °Brix, em que na maior temperatura, obteve o menor teor de antocianinas. Com relação ao aumento da concentração da solução, houve redução das antocianinas.

Na Tabela 4.21 são apresentados os valores de proteínas dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos.

**Tabela 4.21** - Valores médios de proteína (%) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos

Açúcar	Temperatura (°C)	Proteínas (%)	
		45 °Brix	55 °Brix
<b>Mascavo</b>	55	1,24 aA	1,39 aA
	65	1,39 aA	1,55 aA
<b>Cristal</b>	55	1,38 aA	1,23 aA
	65	1,44 aA	1,27 aA

Açúcar mascavo: MG =1,39; CV =14,21 %; DMS para colunas =0,73; DMS para linhas =0,73;

Açúcar cristal: MG =1,33; CV =11,95%; DMS para colunas =0,30; DMS para linhas =0,30

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação; DMS: Desvio mínimo significativo

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, análise estatística aplicada separadamente para cada tipo de açúcar

Em todas as amostras (as tratadas com açúcar mascavo quanto às tratadas com açúcar cristal), nas duas temperaturas e nas duas concentrações de sacarose utilizadas, não foram registradas diferenças significativas entre os valores, indicando que as condições utilizadas não afetaram o teor de proteínas das amostras. Elias *et al.* (2008), ao analisarem caqui Fuyu submetido à desidratação osmótica (sacarose) seguida de secagem convectiva, constataram que o teor de proteínas aumentou 217% em relação às amostras in natura, passando de 0,53 g/100 g no caqui in natura, para 1,68 g/100 g nos caquis secos.

Na Tabela 4.22 são apresentados os valores do parâmetro luminosidade dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos.

Observa-se comportamento distinto para as amostras tratadas com os dois desidratantes, nas duas concentração de sacarose em ambas as temperaturas. Verifica-se que para as amostras tratadas com açúcar mascavo na solução de (45 °Brix), na maior temperatura, houve um aumento da luminosidade e para as amostras tratadas na solução de (55 °Brix), na maior temperatura, houve um decréscimo da luminosidade. Nas amostras tratadas com açúcar cristal, na solução desidratante com concentração de 45 °Brix, o aumento de temperatura resultou na redução da luminosidade e na concentração de 55 °Brix houve aumento.

**Tabela 4.22** - Valores médios de luminosidade (L\*) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos

Açúcar	Temperatura (°C)	Luminosidade (L*)	
		45 °Brix	55 °Brix
Mascavo	55	25,76 bB	31,30 aA
	65	26,71 aA	26,81 bA
Cristal	55	29,90 aB	31,55 bA
	65	28,59 bB	32,91 aA

Açúcar mascavo: MG = 27,64 ; CV = 0,24 %; DMS para colunas = 0,12; DMS para linhas = 0,12;  
 Açúcar cristal: MG = 30,74; CV = 0,19%; DMS para colunas = 0,11; DMS para linhas = 0,11;  
 MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação; DMS: Desvio mínimo significativo  
 Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, análise estatística aplicada separadamente para cada tipo de açúcar

Com o aumento da concentração de 45 °Brix para 55 °Brix houve incremento da luminosidade para as amostras tratadas com açúcar cristal nas duas temperaturas. Em se tratando do açúcar mascavo houve aumento de L\* apenas na temperatura de 55 °C. Bueno e Pereira (2015), ao desidratarem osmoticamente caqui com posterior secagem convectiva, verificou que o aumento da concentração de sacarose (30 e 50 °Brix) não alterou significativamente o parâmetro luminosidade (L\*) após as secagens a 50 e 70 °C. Queiroz *et al.* (2007), ao estudarem a desidratação de goiaba com xaropes de sacarose nas concentrações de 0,4 e 0,5 g/mL, observaram que os valores de L\* mantiveram-se estáveis, ao serem submetidas a desidratação osmótica, seguida da secagem convectiva.

Na Tabela 4.23 são apresentados os valores de intensidade de vermelho (+a\*) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos. Os valores de intensidade de vermelho das amostras tratadas com açúcar mascavo superaram em todos os casos as amostras tratadas com açúcar cristal. Entre os tratamentos com açúcar mascavo, verificam-se diferenças estatisticamente significativas entre todas as amostras, com reduções de intensidade de vermelho, com o aumento do teor de sacarose e com a elevação da temperatura. Efeitos diferentes são observados nas amostras desidratadas com açúcar cristal, onde a intensidade de vermelho foi intensificada com o aumento da concentração, mas não demonstrou influência consistente da temperatura, com resultados divergentes a 45 e a 55 °Brix. Germer *et al.* (2011), ao desidratarem osmoticamente pêssegos em soluções de sacarose (45 a 65 °Brix) e nas temperaturas de 30 a 50 °C, os mesmos verificaram que os valores da intensidade de vermelho variaram com a elevação da temperatura.

**Tabela 4.23** - Valores médios de intensidade de vermelho (+a\*) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos

Açúcar	Temperatura (°C)	Intensidade de vermelho (+a*)	
		45 °Brix	55 °Brix
Mascavo	55	2,84 bA	2,32 bB
	65	6,18 aA	5,46 aB
Cristal	55	0,36 aB	1,72 aA
	65	0,44 aB	1,19 bA

Açúcar mascavo: MG = 4,20; CV = 0,98%; DMS para colunas = 0,07; DMS para linhas = 0,07;  
 Açúcar cristal: MG = 0,92; CV = 6,29%; DMS para colunas = 0,11; DMS para linhas = 0,11;  
 MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação; DMS: Desvio mínimo significativo  
 Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, análise estatística aplicada separadamente para cada tipo de açúcar

Tem-se na Tabela 4.24, os valores obtidos para a intensidade de amarelo (+ b\*) dos cladódios de palma osmodesidratados e secos.

**Tabela 4.24** - Valores médios de intensidade de amarelo (+b\*) dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos

Açúcar	Temperatura (°C)	Intensidade de amarelo (+b*)	
		45 °Brix	55 °Brix
Mascavo	55	9,20 bB	20,13 aA
	65	15,81 aB	17,63 bA
Cristal	55	14,38 bB	16,01 bA
	65	16,01 aB	19,39 aA

Açúcar mascavo: MG = 15,69; CV = 0,50 %; DMS para colunas = 0,14; DMS para linhas = 0,14;  
 Açúcar cristal: MG = 16,55; CV = 1,02 %; DMS para colunas = 0,31; DMS para linhas = 0,31;  
 MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação; DMS: Desvio mínimo significativo  
 Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, análise estatística aplicada separadamente para cada tipo de açúcar

Nas amostras tratadas com açúcar mascavo, tem-se influência estatisticamente significativa do teor de sacarose, como também do aumento da temperatura que demonstra efeitos divergentes sobre este parâmetro. Para os dados de intensidade de amarelo das amostras tratadas com açúcar cristal, a intensidade de amarelo aumento, tanto em relação ao aumento da concentração de sólidos solúveis, como em relação a elevação da temperatura. Bueno e Pereira (2015) ao desidratarem osmoticamente caqui com posterior secagem convectiva, observaram que o aumento da temperatura de secagem (50 e 70 °C) resultou em diminuição significativa do parâmetro intensidade de amarelo (+b\*).

Na Tabela 4.25 são apresentados os valores de cromaticidade ( $C^*$ ) dos cladódios de palma osmodesidratados e secos.

**Tabela 4.25** - Valores médios de cromaticidade dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados e secos

Açúcar	Temperatura (°C)	Cromaticidade ( $C^*$ )	
		45 °Brix	55 °Brix
Mascavo	55	9,26 bB	20,27 aA
	65	16,97 aB	18,46 bA
Cristal	55	14,38 bB	16,10 bA
	65	16,44 aB	19,43 aA

çúcar mascavo: MG =16,33; CV =0,52 %; DMS para colunas =0,15; DMS para linhas =0,15;  
 Açúcar cristal: MG =16,58; CV =1,02%; DMS para colunas =0,31; DMS para linhas =0,31;  
 MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação; DMS: Desvio mínimo significativo  
 Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, análise estatística aplicada separadamente para cada tipo de açúcar

Para as amostras tratadas com açúcar mascavo e cristal nas duas soluções desidratantes e na maior temperatura, percebe-se que ocorreu um incremento significativo no teor da cromaticidade, exceto para as amostras do açúcar mascavo na concentração de sacarose de 55 °Brix, onde ocorreu um decréscimo desse valor quando comparado as demais amostras. Verificam-se aumentos estatisticamente significativos na cromaticidade das amostras tratadas com açúcar mascavo e com açúcar cristal, com o aumento da concentração de sacarose nas duas temperaturas. Todas as amostras apresentaram valores baixos para a cromaticidade, indicando uma coloração menos viva. Valores superiores de  $C^*$  foram observados por Castro (2015), ao analisar amostras de goiaba após o tratamento osmótico seguida de secagem convectiva, indicando cores mais fortes para as goiabas passa.

#### 4.5 - Isotermas de adsorção de água

Na Tabela 4.26, encontram-se os parâmetros dos modelos de GAB, Peleg e Oswin ajustados as isotermas de adsorção de água, na temperatura de 25 °C, dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratado com açúcar cristal a 45 e 55 °Brix, seguida de secagem convectiva a 55 e 65 °C.

Verifica-se que os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) variaram entre 0,9080 a 0,9955 e os desvios percentuais médios (P) alternaram entre 10,06 a 23,55% para as concentrações e temperaturas aplicadas.

**Tabela 4.26** - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados as isotermas de adsorção de água dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratado com açúcar cristal a 45 e 55 °Brix e secos a 55 e 65 °C

Açúcar cristal – T = 55 °C							
Modelos	SST(°Brix)	Parâmetro				$R^2$	P (%)
		$X_m$	C		K		
GAB	45	143,8793	0,0072		0,9943	0,9875	10,73
	55	10,2205	0,3363		1,0074	0,9734	10,99
Peleg	45	$k_1$	$n_1$	$k_2$	$n_2$	0,9918	10,06
		0,8967	-5,5626	366,4440	14,9105		
Peleg	55	$k_1$	$n_1$	$k_2$	$n_2$	0,9738	10,62
		268,5993	10,8395	1,9251	-5,1810		
Oswin	45	a		b		0,9724	22,06
		2,7255		1,5332			
Oswin	55	a		b		0,9080	20,00
		6,1926		1,2127			
Açúcar cristal – T = 65 °C							
Modelos	SST(°Brix)	Parâmetro				$R^2$	P (%)
		$X_m$	C		K		
GAB	45	570,9526	0,0025		0,9561	0,9784	10,57
	55	509,3721	0,0023		0,9697	0,9840	10,43
Peleg	45	$k_1$	$n_1$	$k_2$	$n_2$	0,9913	10,67
		231,4020	231,4020	0,3229	-6,6639		
Peleg	55	$k_1$	$n_1$	$k_2$	$n_2$	0,9955	10,50
		118,8589	118,8589	118,8695	11,9510		
Oswin	45	a		b		0,9732	14,90
		2,3411		1,4766			
Oswin	55	a		b		0,9812	23,55
		1,7149		1,6286			

Observa-se que, de forma geral, para todas as amostras avaliadas, o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o modelo de Peleg por apresentar os maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os menores desvios percentuais médios (P), seguido do modelo de GAB que também apresentou um bom ajuste com  $R^2 > 0,96$  e  $P < 11\%$ . O modelo de Oswin apresentou os menores valores de  $R^2$  e maiores valores de  $P > 11\%$ , não constituindo assim um bom modelo para estimar as isotermas de adsorção de água dos cladódios osmodesidratados. Paglarini *et al.* (2013) ao avaliarem as isotermas de sorção de polpa de manga secas nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C, encontraram para o modelo de Oswin,  $R^2$  e P com valores de 0,9870 e 13,70%.

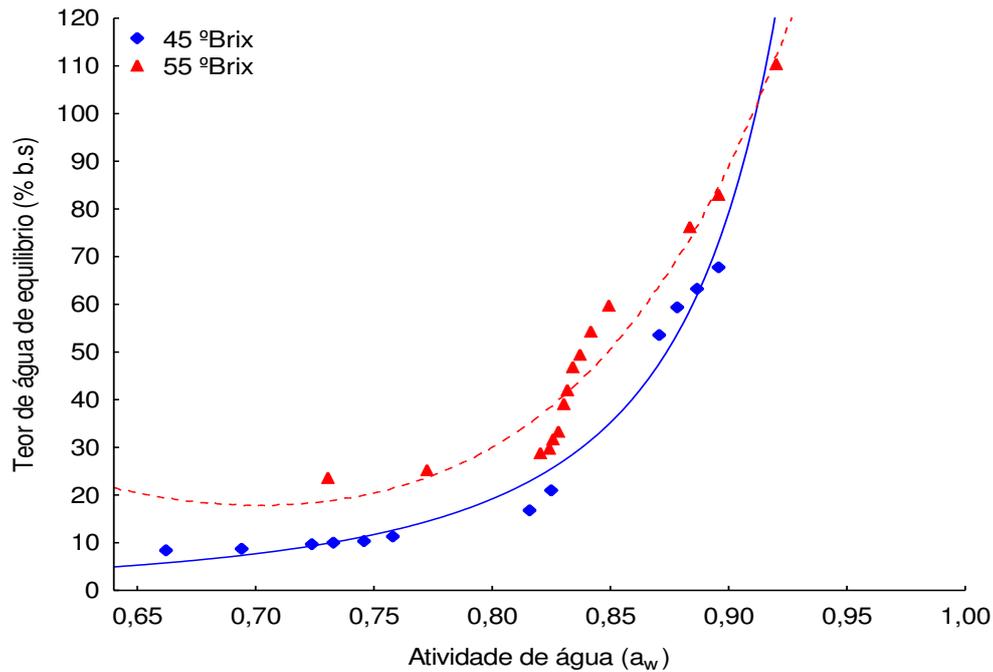
O parâmetro  $X_m$ , que indica o teor de água na monocamada molecular, mostrou diferença entre as amostras na temperatura de 55 e 65 °C, onde o menor valor foi para a

amostra tratada na concentração de sólidos solúveis totais de 55 °Brix e seca na temperatura de 55 °C. De acordo com Gabas *et al.* (2009), o valor o teor de água na monocamada ( $X_m$ ) é muito importante, pois indica a quantidade de água que é fortemente adsorvida em locais específicos do produto, considerado o melhor valor para garantir sua estabilidade. Bezerra *et al.* (2011), ao ajustarem o modelo de GAB as isotermas de adsorção de água na temperatura de 22 °C dos pós de manga (Rosa e Tommy Atkins), obtiveram valores inferiores para monocamada, com  $X_m < 1$  e valores superiores para  $C > 1$ .

Quanto ao parâmetro C do modelo de GAB, que representa o calor total de sorção da primeira camada, constata-se para a temperatura de 55 °C os valores variaram entre 0,0072 e 0,3363 e para a temperatura de 65 °C, os valores diminuíram variando entre 0,0025 e 0,0023. No parâmetro K do modelo de GAB, que é a constante relacionada ao calor de sorção na multicamada com relação ao volume do líquido, percebe-se valores próximo de 1,0 apresentando 0,9943 a 1,0074 para a temperatura de 55 °C e para a temperatura de 65 °C entre 0,9561 a 0,9697. Alcântara *et al.* (2009), ao analisarem as isotermas do pedúnculo seco do caju, perceberam que o modelo de GAB foi o melhor que se ajustou, apresentando  $R^2$  superior a 0,99 e  $P = 1,97\%$ . Contudo, o  $X_m$  não demonstrou tendência definida em relação à temperatura e o K teve um pequeno acréscimo com o aumento da temperatura.

As isotermas dos cladódios de palma desidratados com o açúcar cristal nas temperaturas de 55 e 65 °C podem ser classificadas como do tipo III. Blahovec (2004) certifica que as curvas que apresentam valores para  $0 < K \leq 1$  e  $0 \leq C \leq 2$  para o modelo de GAB são classificadas como do tipo III. Segundo Campos *et al.* (2009) esse tipo de comportamento é uma característica de amostras com altas concentrações de açúcares e solutos e que apresentam pouca adsorção por capilaridade.

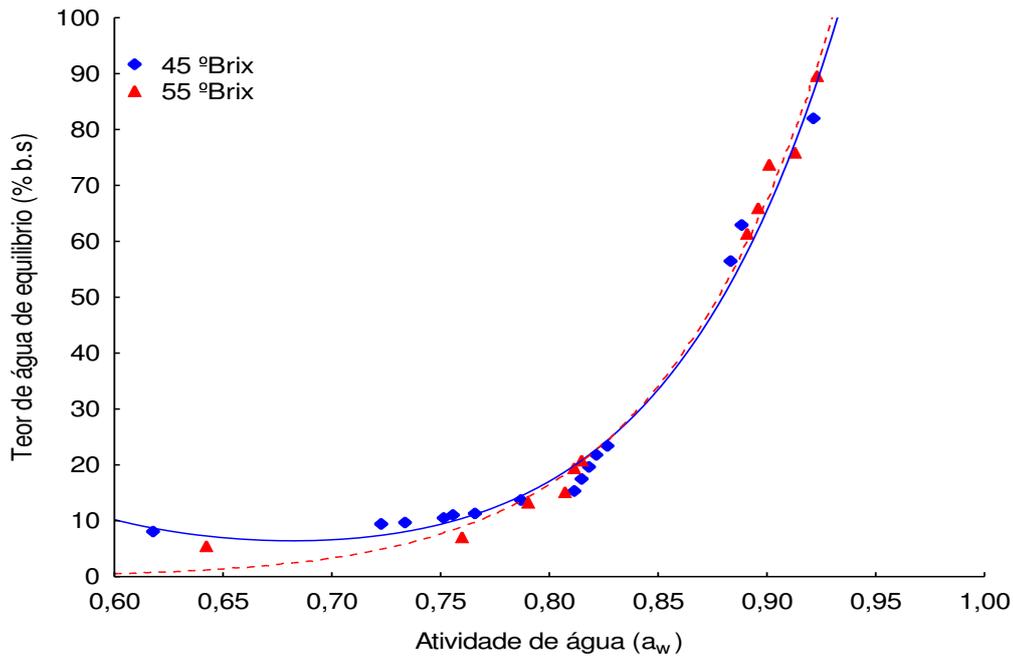
São apresentadas na Figura 4.9, as isotermas de adsorção de água, na temperatura de 25 °C, dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados com açúcar cristal nas concentrações (45 e 55 °Brix), secos a 55 °C, com ajustes pelo modelo de Peleg. Sendo esse o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais das isotermas dentre os testados. Verifica-se um incremento na atividade de água com o aumento do teor de água de equilíbrio.



**Figura 4.9** - Isotermas de adsorção de água a 25 °C dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados com açúcar cristal nas concentrações (45 e 55 °Brix), secos a 55 °C, com ajustes pelo modelo de Peleg

A amostra desidratada na concentração de 55 °Brix apresentou maiores valores de teor de água de equilíbrio. De acordo com Pereira *et al.* (2006), a adsorção de água nos alimentos desidratados é causada, principalmente, pela própria natureza química dos componentes orgânicos do produto (como açúcares), a existência de forças intermoleculares do tipo Van der Waals, da capacidade de grupos hidroxílicos para formar ligações com moléculas de água e do tipo de processo usado na desidratação.

Estão apresentadas na Figura 4.10 as isotermas de adsorção de água dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratado em soluções de açúcar cristal a 45 e 55 °Brix e secos na temperatura de 65 °C.



**Figura 4.10** - Isotermas de adsorção de água a 25 °C dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados com açúcar cristal nas concentrações (45 e 55 °Brix), secos a 65 °C, com ajustes pelo modelo de Peleg

Observa-se que as duas isotermas tem comportamentos semelhante iniciando a atividade de água ( $a_w$ ), em torno de 0,61-0,64, com as curvas muito próximas a partir de  $a_w > 0,75$ . Comportamento semelhante foi observado por Alcântara *et al.* (2009) ao estudarem isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju, cujas curvas, em temperaturas entre 25 e 40 °C se sobrepõem.

Na Tabela.4.27 encontram-se os parâmetros dos modelos GAB, Peleg e Oswin ajustados as isotermas de adsorção de água, na temperatura de 25 °C, dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados com açúcar mascavo a 45 e 55 °Brix e seco a 55 e 65 °C.

Para as amostras tratadas com açúcar mascavo nas concentrações de sólidos soluveis totais de 45 e 55 °Brix e nas temperaturas de 55 e 65 °C, os modelos de GAB e Peleg apresentaram os melhores ajustes com  $R^2 > 0,96$  e  $P < 11\%$ , podendo serem usados na estimativas das isotermas de adsorção de água dos cladódios de palma. Verifica-se para o modelo de Oswin  $R^2 < 0,99$  e  $P > 11\%$ , não sendo adequado para representar as isotermas de adsorção de água dos cladódios de palma osmodesidratados. Bezerra *et al.* (2010) ajustaram os modelos de GAB, Oswin, BET e Henderson as isotermas de adsorção de água de pós de manga a 25 °C, com GAB e Oswin apresentando os maiores  $R^2$  (0,99).

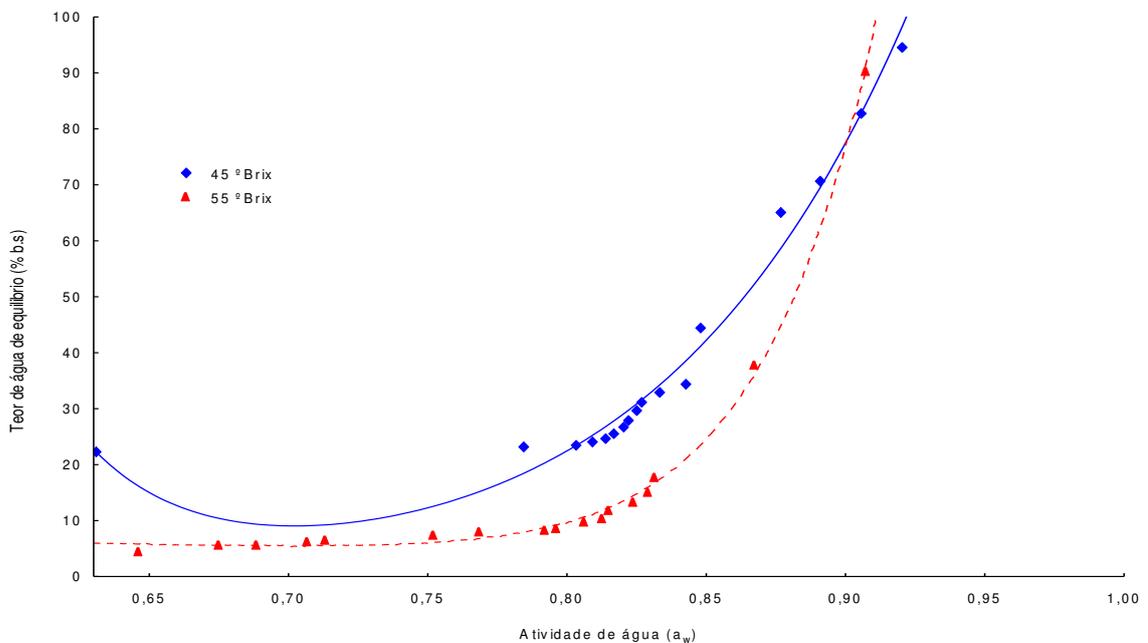
**Tabela 4.27** - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados as isotermas de adsorção de água dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados com açúcar mascavo a 45 e 55 °Brix e seco a 55 e 65 °C

Açúcar Mascavo T= 55 °C							
Modelos	SST(°Brix)	Parâmetro			$R^2$	P (%)	
		$X_m$	C	K			
GAB	45	339,5839	0,0083	0,9286	0,9706	10,95	
	55	1,5744	1,4180	1,0835	0,9983	10,10	
Peleg	45	$K_1$	$n_1$	$K_2$	$n_2$	0,9927	5,78
		0,0109	-	238,1490	10,6674		
	55	762,4980	22,2477	3,3126	-1,2650	0,9986	9,92
		Oswin	45	a		b	
6,2256	1,1750						
55	1,8102	1,5429	0,9209	33,14			
	Açúcar Mascavo T=65 °C						
GAB	SST(°Brix)	$X_m$	C	K	$R^2$	P (%)	
		45	1,3130	556955,0	1,1137	0,9973	9,00
Peleg	45	$K_1$	$n_1$	$K_2$	$n_2$	0,9946	9,97
		314,7972	15,4420	0,7616	-4,9428		
55	268,1779	16,4352	13,2840	0,9206	0,9946	6,57	
	Oswin	45	a		b		0,9831
1,4330			1,6995				
55	5,9109	1,0655	0,9755	16,00			

O teor de água na monocamada molecular ( $X_m$ ) na temperatura de 55 °C diminuiu, entre as concentrações de 45 e 55 °Brix, enquanto na temperatura de 65 °C ocorreu aumento. Os parâmetros C e K do modelo de GAB não apresentaram comportamento padrão em relação as concentrações de xarope, como também com o aumento da temperatura. Campos *et al.* (2009), ao estudarem as isotermas de adsorção da palma forrageira enriquecida proteicamente, observaram que o valor de  $X_m$  aumentava com a elevação da temperatura da isoterma (35-40 °C) e o valor de “C” diminuía quando a temperatura aumentava de 35 para 40 °C. O teor de água na monocamada molecular é importante, pois pode ser relacionado com o início de uma série de reações químicas de deterioração dos alimentos (FERREIRA; PENA, 2003).

De acordo com a classificação de Blahovec (2004), as isotermas de adsorção dos cladódios de palma osmodesidratados com o açúcar mascavo na temperatura de 55 °C são do tipo III ( $0 < K \leq 1$  e  $0 \leq C \leq 2$ ) e as da temperatura de 65 °C são do tipo II ( $0 < K \leq 1$  e  $C > 2$ ).

Estão representadas na Figura 4.11 as isotermas de adsorção de água dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratado, em soluções de açúcar mascavo a 45 e 55 °Brix e secos na temperatura de 55 °C. Verifica-se que as amostras tratadas com açúcar mascavo apresentaram um comportamento de maior absorção de água (na amostra com 45 °Brix) e as curvas ficaram muito próximas em atividades de água superiores a 0,90.

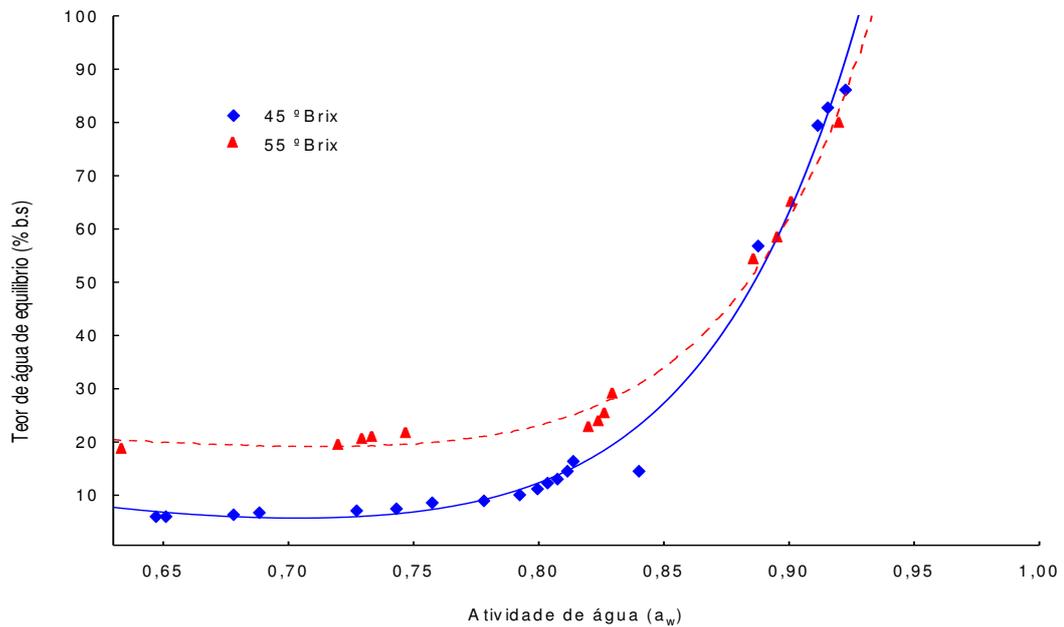


**Figura 4.11** - Isotermas de adsorção de água a 25 °C dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratados com açúcar mascavo nas concentrações (45 e 55 °Brix), secos a 55 °C, com ajustes pelo modelo de Peleg

Estão representadas na Figura 4.12 as isotermas de adsorção de água dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratado em soluções de açúcar mascavo a 45 e 55 °Brix e secos na temperatura de 65 °C. Verifica-se que as amostras tratadas com açúcar mascavo, ao contrário da temperatura de 55 °C, apresentaram um comportamento de maior absorção de água na amostra com 55 °Brix, e também as curvas ficaram muito próximas em atividades de água superiores a 0,90.

Destaca-se o afastamento entre as curvas correspondentes a 45 e 55 °Brix até atividades de água em torno de 0,80 e a partir de então, passam a convergir, até se cruzarem em atividade de água próxima de 0,90. Observa-se que as isotermas dos parênquimas dos cladódios de palma, como a maioria dos produtos de origem vegetal, apresentam em sua

porção final, correspondente as atividades de água mais elevadas, um comportamento mais higroscópico, que se caracteriza por uma ascensão pronunciada da curva.



**Figura 4.12** - Isotermas de adsorção de água a 25 °C dos parênquimas dos cladódios de palma osmodesidratado com açúcar mascavo nas concentrações (45 e 55 °Brix), secos a 65 °C, com ajustes pelo modelo de Peleg

## 5 - CONCLUSÕES

A polpa integral dos cladódios de palma apresentou como constituinte predominante na sua composição um alto teor de água, atividade de água, relação SST/ATT, clorofila, carotenoides e compostos fenólicos, e baixos teores de acidez, sólidos solúveis totais, açúcares redutores e proteínas.

Na desidratação osmótica dos parênquimas de cladódio de palma, as cinéticas de perda de água e de ganho de sólidos das amostras desidratadas com açúcar cristal e com açúcar mascavo foram bem ajustadas equações exponenciais.

As cinéticas de secagem convectiva foram bem ajustadas pelos modelos de Midilli, Page e Henderson e Pabis, destacando-se com os melhores ajustes o de Midilli.

As amostras osmodesidratadas apresentaram os melhores valores para a atividade de água, acidez total titulável, ácido ascórbico, teor de água, cinzas, carotenoides, compostos fenólicos, flavonoides, antocianinas e intensidade de vermelho para as amostras tratadas com o açúcar mascavo, quando comparadas com as amostras tratadas com o açúcar cristal.

Os modelos de Peleg e GAB podem ser usados para estimar as isotermas de adsorção de água das amostras osmodesidratadas, com destaque para o de Peleg, resultando nos melhores ajustes. As isotermas de adsorção de água das amostras foram classificadas em sua maioria como tipo III.

**6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALBUQUERQUE, S. G.; SANTOS, D. C. Palma forrageira In: KILL, L. H. P.; MENEZES, A. E. **Espécies vegetais exóticas com potencialidades para o semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semeriarido, 2005. 127 p.

ALCÂNTARA, S. R.; ALMEIDA, F. A. C. SILVA, F. L. H.; GOMES, J. P. Isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 13, n. 1, p. 81–87, 2009.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº. 269, de 22 de setembro de 2005. Dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis**. 14<sup>th</sup>. ed. Washington: AOAC, 1997. 3100 p.

ARAÚJO, E. A. F. **Estudo do processo de desidratação osmótica e secagem de nectarina (*prunus persica*)**. 2005. 130 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2005.

ASSUNÇÃO, A. B.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico do resíduo de camarão-rosa. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 786-793, 2007.

BARBERA, G. História e importância econômica e agroecológica. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; BARRIOS, E. P. **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. Paraíba: SEBRAE, 2001. p. 1-11.

BARBOSA, A. S.; BARBOSA, S. A, LIMA, M. F. S.; PIRES. V. C. F.; FILHO, S. M. R. Frutos de palma forrageira e mandacaru como alternativa na alimentação humana. In: CONGRESSO NORTE–NORDESTE DE QUÍMICA, 3., 2009, São Luis, **Anais...** São Luis: UFMA, 2009.

BARBOSA, M. C.;VALE, R. C.; DETONI, C. E. estudo exploratório da composição química dos cladódios da cactaceae *brasiliopuntia brasiliensis* a. Berger. **Cadernos de Geociências**, v. 11, n. 1-2, p 114-120, 2014.

BENASSI, M. T.; ANTUNES, A. J. A Comparison of meta-phosphoric and oxalic acids as extractant solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 31, n. 4, p. 507-573, 1998.

BEZERRA, T. S.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A.; MAIA, G. A.; CLEMENTE, E. Avaliação físico-química e aplicação de modelos matemáticos na predição do comportamento de polpas de manga desidratadas em pó. **Revista. Ceres**, v. 58, n. 3, p. 278-283, 2011.

- BEZERRA, T. S.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A.; MAIA, G. A.; ROCHA, É. M. F. F. Comportamento higroscópico de pós de manga das variedades *coité* e *espada* e avaliação das características físico-químicas. **Ciência Rural**, v. 40, n. 10, p. 2186-2192, 2010.
- BLAHOVEC, J. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 4, p. 489-495, 2004.
- BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução a química dos alimentos**. Campinas: Fundação Cargil, 1985. 306 p.
- BRANDÃO, M. C. C.; MAIA, G. A.; LIMA, D. S. P.; PARENTE, E. J. S.; CAMPELLO, C. C.; NASSU, R. T.; FEITOSA, T.; SOUSA, P. H. M. Análise físico-química, microbiológica e sensorial de frutos de manga submetidos à desidratação osmótico-solar. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 38-41, 2003.
- BRUNAUER, S.; DEMING, L. S.; TELLER, E. On a theory of Van der Waals adsorption of gases. **Journal of the American Chemical Society**, v. 62, n. 7, p. 1723-1732, 1940.
- BUENO, M. A. A.; PEREIRA, E. A. Caqui cv. fuyu submetido à desidratação osmótica e secagem por convecção. **Revista Synergismus scyentifica UTFPR**, v. 10, n. 1, p. 159-166, 2015.
- CAMPOS, A. R. N.; SILVA, F. L. H.; GOMES, J. P.; OLIVEIRA, L. S. C.; OLIVEIRA, M. M. Isotermas de adsorção e calor isostérico da palma forrageira enriquecida proteicamente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 13, n. 6, p. 734-740, 2009.
- CÂNDIDO, M. J. D.; GOMES, G. M. F.; LOPES, M. N.; XIMENES, L. J. F. Cultivo de palma forrageira para mitigar a escassez de forragem em regiões semiáridas. **Informe Rural Etene**, v. 7, n. 3, p. 1-7, 2013.
- CANTWELL, M. Manejo pós-colheita de frutas e verdura de palma forrageira. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; BARRIOS, E. P. **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. Paraíba: SEBRAE, 2001. p. 216.
- CAPRISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorptional equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science**, v. 47, n. 5, p. 1501-1507, 1982.
- CASTRO, D. S.; NUNES, J. S.; SILVA, L. M. M.; SOUSA, F. C.; SILVA, W. P.; GOMES, J. P. Secagem de polpa de *Annona squamosa* L.: cinética e avaliação de modelos empíricos. **Reviista Magistra**, v. 28, n. 3/4, p.294-300, 2016.
- CASTRO, D. S. **Modelagem do processo de obtenção de goiaba (*psidium guajava* L.) passa**. 2015. 130f. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.
- CAVALCANTE, A. C. R.; CÂNDIDO, M. J. D. **Alternativas para aumentar a disponibilidade de alimentos nos sistemas de produção a pasto na Região Nordeste**. Sobral: Embrapa Caprinos, 2003. 31 p.

CHIACCHIO, F. P. B.; MESQUITA, A. S.; SANTOS, J. R. Palma forrageira: uma oportunidade econômica ainda desperdiçada para o semi-árido baiano. **Revista Bahia Agrícola**, v. 7, n. 3, p. 39-49, 2006.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. D. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. Ed. Lavras: UFLA, 2005. 783 p.

CÓRDOVA, K. R. V. **Desidratação osmótica e secagem convectiva de maçã Fuji comercial e industrial**. 2006. 148 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

DIONELLO, R. G.; BERBERT, P. A.; MOLINA, M. A. B.; PEREIRA, C. R.; VIANA, A. P.; CARLESSO, V. O. Desidratação osmótica de frutos de duas cultivares de abacaxi em xarope de açúcar invertido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 5, p. 596-605, 2009.

EL-AOUAR, A. A.; AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X. Influência do pré-tratamento osmótico na qualidade de mamão formosa (*Carica papaya L.*) seco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: UNESP, 2002.

ELIAS, N. F.; BERBERT, P. A.; MOLINA, M. A. B.; 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. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28 , n. 2 , p. 322- 328, 2008.

FARIAS, A. F. **Propriedades físico-químicas de abacate submetido à secagem convectiva e desidratação osmótica**. 2012. 109 f. Dissertação (Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, São Paulo, 2012.

FARIAS, R. Q.; TEIXEIRA, I. R.; DEVILLA, I. A.; DIEGO, P. R.; RESENDE, A. O. Cinética de secagem de sementes de cramber. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n .5, p. 573-583, 2012.

FARIAS, S. N. **Secagem de sólidos esferóides usando o método de Gallerkin**. 2002. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2002.

FARIAS, V. F. S. **Avaliação do esenvolvimento, qualidade e capacidade antioxidante em brotos de palma (*opuntia sp.*) para o consumo humano**. 2013. 74 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2013.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia de processamento de alimentos: princípios e práticas**. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.

FERNANDES, F. A. N., RODRIGUES, S., GASPARETO, O. C. P.; OLIVEIRA, E. L. Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. **Food Research International**, v. 39, n. 4, p. 492-498, 2006.

- FERREIRA, C. D.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*). **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 2, p. 251-255, 2003.
- FERREIRA, M. A.; PESSOA, R. A. S.; SILVA, F. M. **Produção e utilização da palma forrageira na alimentação de ruminantes**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NUTRIÇÃO ANIMAL, 1., 2008, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: AMVECE, 2008.
- FEUGANG, J. M.; KONARSKI, P. ZOU, D.; STINTZING, F. C.; ZOU, C. Nutritional and medicinal use of cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. **Frontiers in Bioscience**, v. 11, n. 1, p. 2574-2589, 2006.
- FIGUEIREDO, R. **Princípios de secagem de produtos biológicos**. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 2004. 229 p.
- FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. **Anthocyanins as food colors**. New York: Academic Press, 1982. p. 181-207.
- FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos alimentos**. São Paulo: Atheneu, 2008. 229 p.
- GABAS, A. L.; TELIS-ROMERO, J.; GIRALDO-GÓMEZ, G. I.; TELIS, V. R. N. Propiedades termodinámicas de sorción de agua de la pulpa de lulo en polvo com encapsulantes. **Revista Ciências e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, p. 911-918, 2009.
- GASPARETO, O. C. P. **Secagem osmo-convectiva de banana nanica (*musa cavendishii*, L.), mamão formosa (*Carica papaya*, L.) e jaca (*Artocarpus integrifolia* L.)**. 2005. 148 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.
- GAVA, A. J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Nobel, 1983. 284 p.
- GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 2008. 511 p.
- GENINA-SOUTO, P.; BARRERA-CORTES, J.; GUTIERREZ-LOPEZ, G.; NIETO, E. A. Temperature and concentration effects of osmotic media on profiles of sweet potato cubes. **Drying Technology**, v. 19, n. 3-4, p. 547-558, 2001.
- GERMER, S. P. M.; QUEIROZ, M. R.; AGUIRRE, J. M.; BERBARI, S. A. G. ANJOS, V. D. Desidratação osmótica de pêssegos em função da temperatura e concentração do xarope de sacarose. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 161-169, 2011.
- GUSMÃO, R. P.; GUSMÃO, T. A. S.; FALCÃO FILHO, R. S.; EL AOUAR, A. A. Efeito da secagem convectiva no conteúdo de carotenóides totais e atividade de água da palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 16, n. 2, p. 205-212, 2014.

- HELDMAN, D. R.; HARTEL, R. W. **Principles of food processing**. Nova Iorque: Chapman & Hall, 2000. 288 p.
- HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory. I. Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agriculture Engineering Research**, v. 6, n. 3 p. 169-174, 1961.
- HILLS, F. S. Anatomia e morfologia. In: IGLESE, G. B. P.; BARRIOS, E. P. **Agroecologia cultivada e usos da palma forrageira**. 2. ed. Paraíba: SEBRAE, 2001. p. 28-35.
- HUBER, L. S.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Flavonóis e flavonas: fontes brasileiras e fatores que influenciam a composição em alimentos. **Revista de Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 1, p. 97-108, 2008.
- HUI Y. H.; CLARY, C.; FASINA,.; NOOMHORM, A.; WELTI-CHANES, J. **Food drying, science and technology: microbiology, chemistry, applications**. Destech Publications, 2008. v. 510, 807 p.
- IGUEDJATAL, T.; LOUKA, N.; ALLAF, K. Sorption isotherms of potato slices dried and texturized by controlled sudden decompression. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 2, p. 180-190, 2008.
- IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análises de alimentos**. 4. ed. São Paulo: IAL, 2008. 1020 p.
- KOWALSKA, A.; LENART, A.; LESZCZYK, D. The effect of blanching and freezing on osmotic dehydration of pumpkin. **Journal of Food Engineering**, v. 86, n.1, p. 30-38, 2008.
- LAZARADIS, H. N.; GEKAS, V.; MAVROUDIS, N. Apparent mass diffusivities: in fruit and vegetable tissues undergoing osmotic processing. **Journal of Food Engineering**, n. 31, n. 3, p. 315- 324, 1997.
- LENART, A.; PIOTROWSKI, D. Drying characteristics of osmotically dehydrated fruits coated with semipermeable edible films. **Drying Technology**, v. 19, n. 5, p. 849-877, 2001.
- LEWICKI, P. P.; PAWLAK, G. Effect of drying on microstructure of plant tissue. **Drying Technology**, v. 21, n. 4, p. 657-683, 2003.
- LEWICKI, P. P.; PORZECKA-PAWLAK, R. Effect of osmotic dewatering on apple tissue structure. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n.1, p. 43-50, 2005.
- LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In: PACKER, L.; DOUCE, R. **Methods in enzymology**. London: Academic Press, 1987. v. 148, p. 350-382.
- LIMA, E. E.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Cinética de secagem de polpa de facheiro. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 9, n. 1, p. 17-28, 2007.
- LIMA, E. E. **Produção e armazenamento da farinha de facheiro**. 2006. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

- LIMA, L. M. P. **Otimização da desidratação osmótica do sapoti (*Achras zapota* L.)**. 2013. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2013.
- LIMA, V. L. A. G.; MELO, E. A.; GUERRA, N. B. Correlação entre o teor de antocianinas e caracterização cromática de polpas de diferentes genótipos de aceroleira. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 10, n. 1, p. 51-55, 2007.
- MACHADO, M. M.; SOUZA, M. C.; JUNQUEIRA, M. S.; SARAIVA, S. H.; TEIXEIRA, L. J. Q. Cinética de secagem do abacaxi cv. Pérola. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 428-437, 2012.
- MADUREIRA, I. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; SILVA FILHO, D da. Cinética de secagem da polpa do figo-da-india. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.14, n. Especial, p.525-534, 2011.
- MAIA, L. D. M.; SOUZA, W. C. O.; VILAR, F. C. R.; ALMEIDA, M. B.; LIMA, L. O. Descrição morfológica e caracterização química do noni (*Morinda citrifolia*). In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE E NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 4. 2009, Belém. **Anais...** Belém: IFPA, 2009.
- MARTINS, M. C. P; CUNHA, T. L; SILVA, M. R. Efeito das condições da desidratação osmótica na qualidade de passas de caju-do-cerrado. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 158-165, 2008.
- MARTINS, N. S. P. P.; WASZCZYNSKYJ, N.; MASSON, M. L. Cálculo das variáveis na desidratação osmótica de manga cv. Tommy Atkins. **Ciência Agrotécnica**, v. 31, n. 6, p. 1777-1759, 2007.
- MARTINS, P. C.; PORTO, P. S. S.; PINTO, L. A. A. Estudo das propriedades físicas e de transporte na secagem de cebola (*Allium cepa* L.) em camada delgada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 3, p. 319-326, 2004.
- MAYOR, L.; SERENO, A. M. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 373-386, 2003.
- MERCALI, G. D. **Estudo da transferência de massa na desidratação osmótica de banana (*Musa sapientum* Shum.)**. 2009. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2009.
- MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, v. 20, n. 7, p. 1503–1513, 2002.
- MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.
- MOTA, R. V. Avaliação da qualidade físico-química e aceitabilidade de passas de pêsego submetidas à desidratação osmótica. **Ciência Tecnologia Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 789-794, 2005.

NUNES, C. S. Usos e aplicações da palma forrageira como uma grande fonte de economia para o semiárido nordestino. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 1, p. 58-66, 2011.

OETTERER, M.; ARCE, M. A. B. R.; SPOTO, M. H. F. **Fundamentos de ciências e tecnologia de Alimentos**. Barueri: Manole, 2006. 632 p.

OLIVEIRA, E. A.; JUNQUEIRA, S. F.; MASCARENHAS, R. J. Caracterização físico-química e nutricional do fruto da palma (*Opuntia ficus indica* L. Mill) cultivada no sertão do sub-médio são Francisco. **Holos**, v. 3, n. 27, p. 113-119, 2011.

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

PAGLARINI, C. S.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; PIASSOON, D.; SANTOS, P. Histerese das isotermas de sorção da polpa de manga (*Mangifera indica* L.) variedade manteiga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 299-305, 2013.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Drying of pear d' Anjou with and without osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**. v. 56, n. 1, p. 97-103, 2003.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus* sp.) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001.

PARK, K. J.; MORENO, M. K.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra Bartlett. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001.

PEIXOTO, M. J. A. **Aclimatização de plantas micro propagadas de palma forrageira opuntia ficus indica (L.) mill, em diferentes substratos**. Fortaleza: UFC, 2004. 45 p.

PENA, R. S; RIBEIRO, C. C; GRANDI, J. G. Aplicação de modelos matemático bi e tri-paramétricos na predição das isotermas de adsorção de umidade de guaraná (*Paullinia cupuna*) em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 1, p. 8-11, 2000.

PEREIRA, E. M.; COSTA, F. B.; ALBUQUERQUE, J. R. T.; ROCHA, T. C.; COSTA, R. T. R. V. Qualidade pós-colheita e processamento mínimo de brotos de palma *Opuntia ficus-indica* Mill. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 3, p. 229-234, 2013.

PEREIRA, E. M.; PEREIRA, F. H. F.; LINS, H. A.; ALBUQUERQUE, J. R. T.; FERREIRA, A. A. Fontes de esterco e concentrações de nutrientes na solução nutritiva na produção e qualidade de brotos de palma forrageira. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 4, p. 226-231, 2012.

PEREIRA, I. E.; QUEIROZ, A. J. M. Q.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Características físico-químicas do tomate em pó durante o armazenamento. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 1, p. 83-90, 2006.

- PEREZ, L. G.; OLIVEIRA, F. M. N.; ANDRADE, J. S.; MOREIRA FILHO, M. Cinética de secagem da polpa cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) pré desidratada por imersão-impregnação. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 102-106, 2013.
- QUEIROZ, V. A. V.; BERBERT, P. A. MOLINA, M. A. B.; GRAVINA, G. A.; QUEIROZ. Mecanismos de transferência de massa na desidratação osmótica de goiaba em soluções de sacarose, sucralose e açúcar invertido. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 4, p. 715-725, 2010.
- QUEIROZ, V. A. V.; BERBERT, P. A.; MOLINA, M. A. B.; GRAVINA, G. A.; QUEIROZ, L. R.; DELIZA, R. Desidratação por imersão-impregnação e secagem por convecção de goiaba. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 10, p. 1479-1486, 2007.
- RIBEIRO, E. P.; RERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. São Paulo: Blucher, 2007. 86 p.
- RODRIGUES, S., FERNANDES, F. A. N. Dehydration of melons in a ternary system followed by air-drying. **Journal of Food Engineering**, v.80, n. 2, p. 678- 687, 2007.
- SANTOS, T. C.; ABREU FILHO, G.; A.; ROCHA, T. J. H.; FRAN, M. F. F.; Palma forrageira como matéria prima para a produção de enzimas celulolíticas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 2, p. 270-276, 2012.
- SCHWANKE, R.O. **Determinação da difusividade de hidrocarbonetos aromáticos em zeólitas y por métodos cromatográficos**. 2003. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- SHIGEMATSU, E.; EIK, N. M.; KIMURA, M.; MAURO, M. A. Influência de pré-tratamentos sobre a desidratação osmótica de carambolas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 536-545, 2005.
- SILVA, E. T.; SILVA, E. C. O.; GUSMÃO, R. P.; LOPES, J. D.; GUSMÃO, T. A. S. Modelagem matemática da desidratação osmo-convectiva da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) utilizando soluções mistas, **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 4 , p. 39-48, 2015.
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2009.
- SILVA, R. B.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; ALVES, A. P. Estudo da cinética de secagem de polpa de carambola. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 10, n. 2, p. 2069-2080, 2016.
- SILVA, Y. C.; SILVA, F. D.; SILVA, A. S.; LIMA, E. E.; SOUZA, J. A. Aplicação dos modelos de Fick e Page na secagem de palma forrageira (*Opuntia ficus indica*) em estufa. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 4., 2004, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: CEDRA, 2004.

SOUSA, P. H. M.; MAIA, G. A.; SOUZA FILHO, M. S. M.; FIGUEIREDO, R. W.; SOUZA, A. C. R. Goiabas desidratadas osmoticamente seguidas de secagem em estufa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 3, p. 414-416, 2003.

TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **Food Research International**, v. 26, n. 1, p. 59-68, 1993.

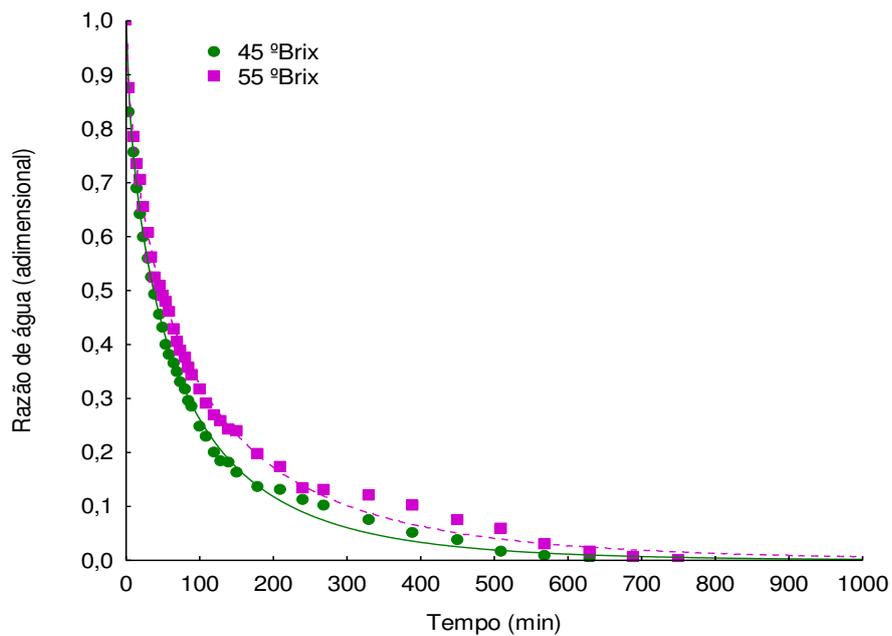
TORREGGIANI, D.; BERTOLO, G. High-quality fruit and vegetable products using combined processes. In: FITO, P. et al. **Osmotic dehydration and vacuum impregnation**. Lancaster: Technomic Publishing Company, 2001. p. 3-9.

VALDEZ, C. A. F. Produção, industrialização e comercialização de verdura de palma forrageira. In: BARBERA, G.; INGLESE, P. **Agroecologia, cultivos e usos da palma forrageira**. Paraíba: SEBRAE/PB, 2001. p. 94-102.

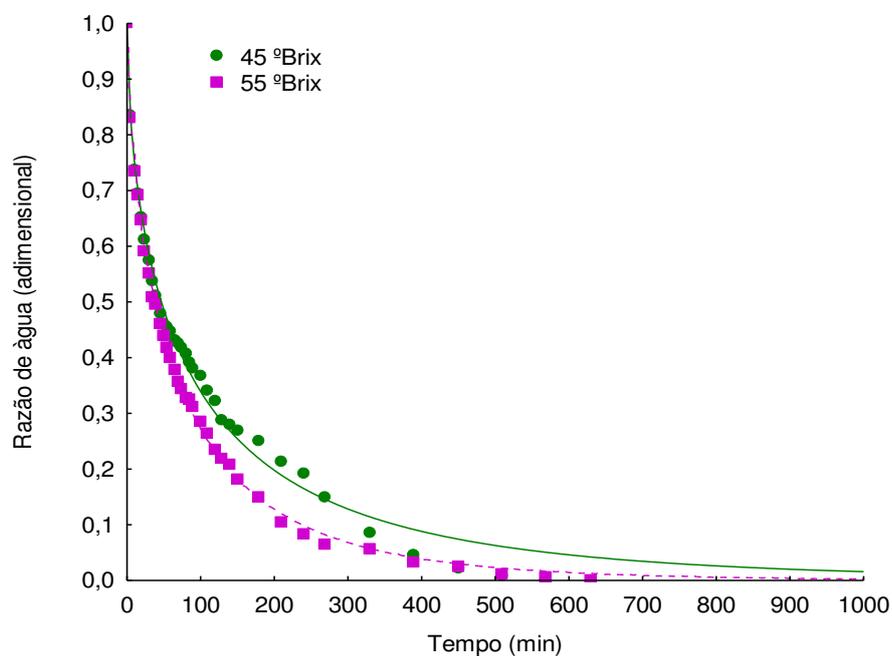
VILELA, C. A. A.; ARTUR, P. O. Secagem do açafrão (*Curcuma longa* L.) em diferentes cortes geométricos. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 387-394, 2008.

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

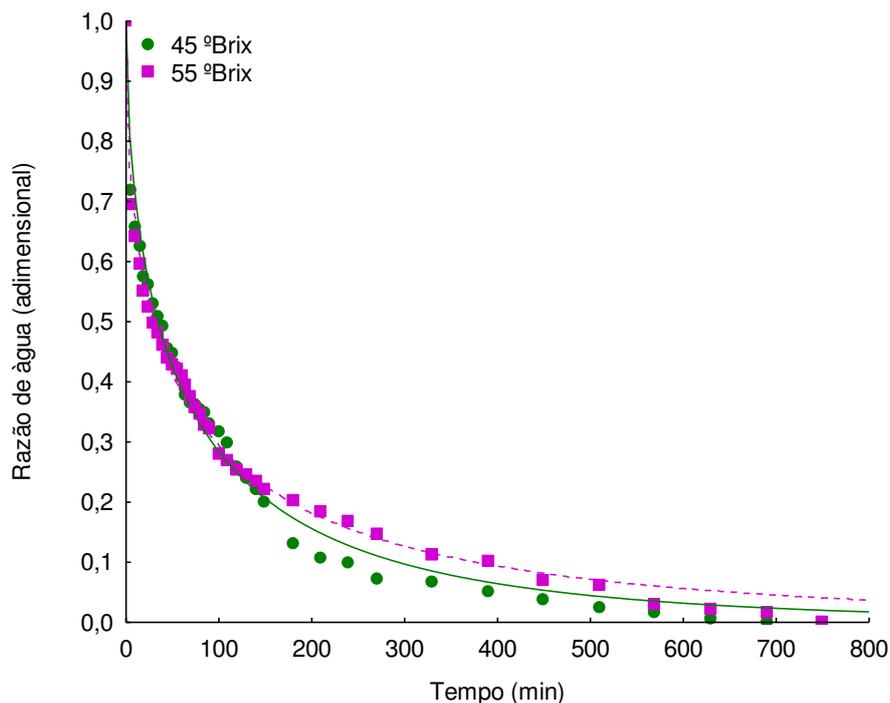
**APÊNDICE A**



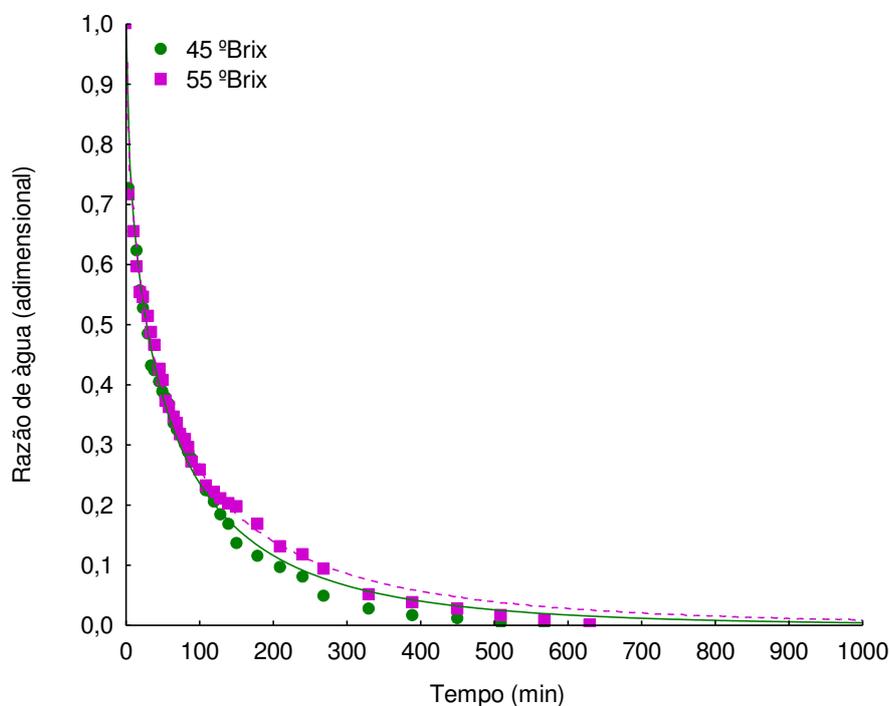
**Figura A.1** - Cinéticas de secagem dos parênquimas dos cladódios de palma desidratados osmoticamente com açúcar cristal nas concentrações (45 e 55 °Brix) e secos a 55 °C, com ajuste pelo modelo de Page



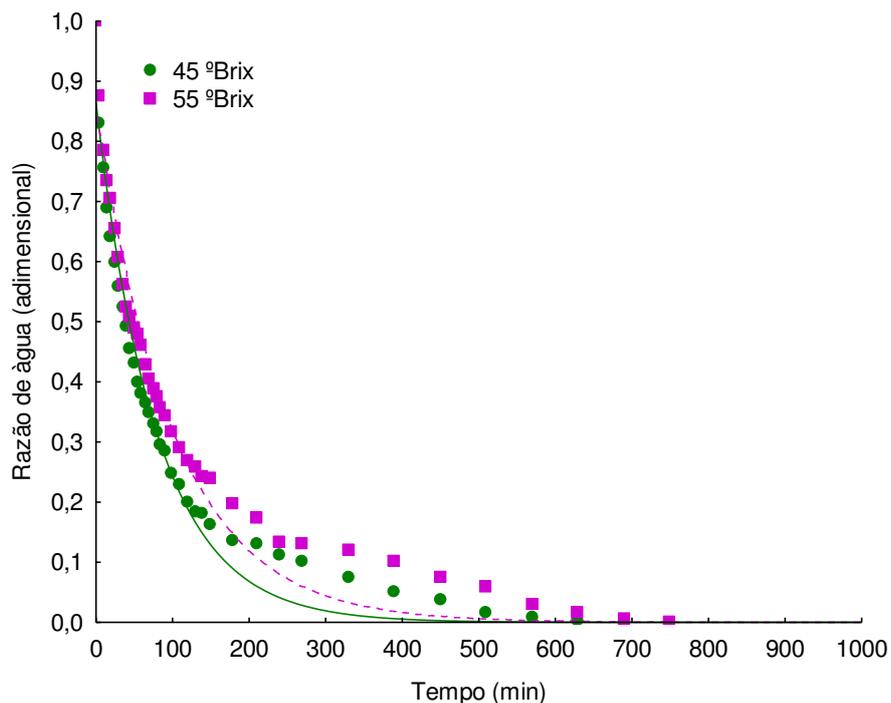
**Figura A.2** – Cinéticas de secagem dos parênquimas dos cladódios de palma desidratados osmoticamente com açúcar cristal nas concentrações (45 e 55 °Brix) e secos a 65 °C, com ajuste pelo modelo de Page



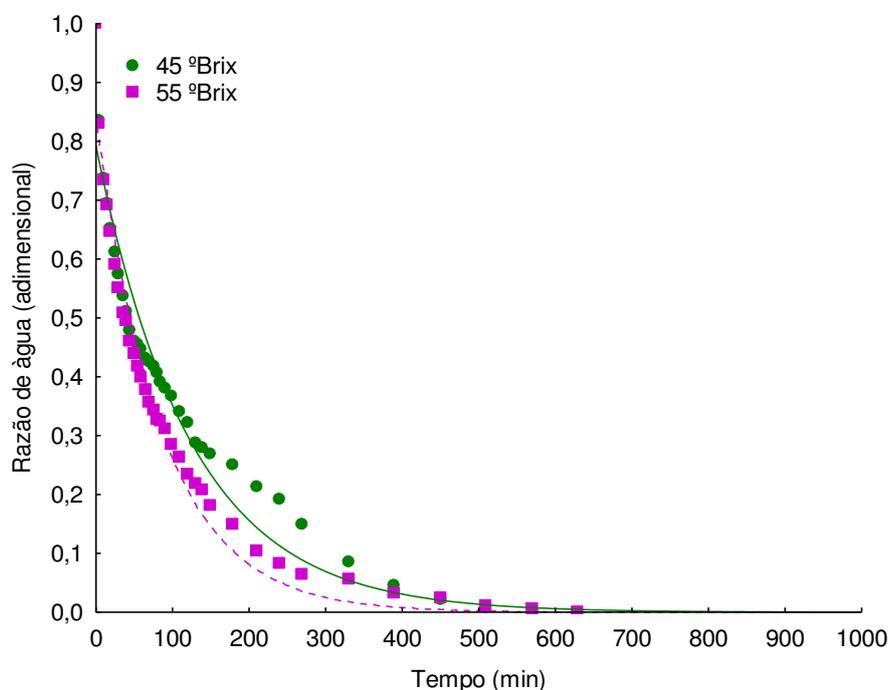
**Figura A.3** – Cinéticas de secagem dos parênquimas dos cladódios de palma desidratados osmoticamente com açúcar mascavo nas concentrações (45 e 55 °Brix) e secos a 55 °C, com ajuste pelo modelo de Page



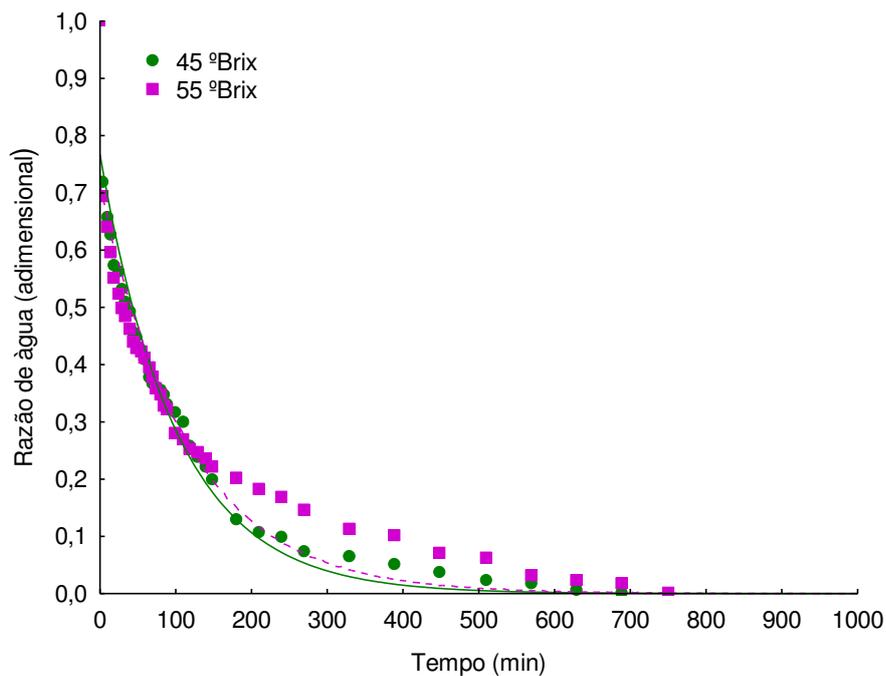
**Figura A.4** – Cinéticas de secagem dos parênquimas dos cladódios de palma desidratados osmoticamente com açúcar mascavo nas concentrações (45 e 55 °Brix) e secos a 65 °C, com ajuste pelo modelo de Page



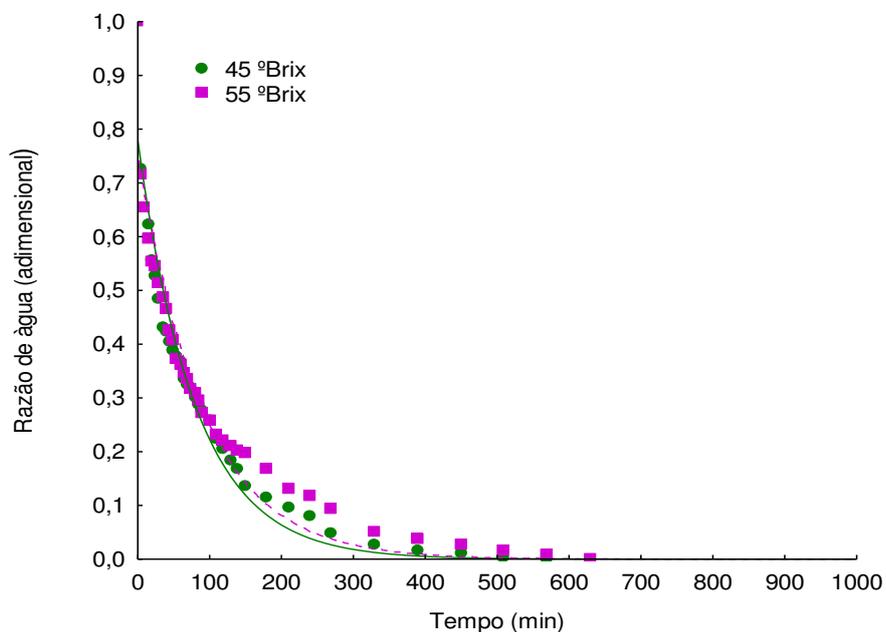
**Figura A.5** – Cinéticas de secagem dos parênquimas dos cladódios de palma desidratados osmoticamente com açúcar cristal nas concentrações (45 e 55 °Brix) e secos a 55 °C, com ajuste pelo modelo de Henderson & Pabis



**Figura A.6** – Cinéticas de secagem dos parênquimas dos cladódios de palma desidratados osmoticamente com açúcar cristal nas concentrações (45 e 55 °Brix) e secos a 65 °C, com ajuste pelo modelo de Henderson & Pabis



**Figura A.7** – Cinéticas de secagem dos parênquimas dos cladódios de palma desidratados osmoticamente com açúcar mascavo nas concentrações (45 e 55 °Brix) e secos a 55 °C, com ajuste pelo modelo de Henderson & Pabis



**Figura A.8** – Cinéticas de secagem dos parênquimas dos cladódios de palma desidratados osmoticamente com açúcar mascavo nas concentrações (45 e 55 °Brix), secos a 65 °C, com ajuste pelo modelo de Henderson & Pabis