

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor,
o texto completo desta tese será
disponibilizado somente a partir
de 23/05/2026



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José do Rio Preto

ANDRÉ LUIZ BORGES MACHADO

Isotermas de sorção, cinética de secagem e propriedades termodinâmicas de plantas alimentícias não convencionais

São José do Rio Preto

2024

ANDRÉ LUIZ BORGES MACHADO

**ISOTERMAS DE SORÇÃO, CINÉTICA DE SECAGEM E
PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DE PLANTAS
ALIMENTÍCIAS NÃO CONVENCIONAIS**

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadoras: CAPES (001), CNPq (314459/2021-9) e FAPESP (2022/05272-8)

Orientador: Prof. Dr. Javier Telis Romero

Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Priscila Alonso dos Santos

Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Guadalupe Luna Solano

São José do Rio Preto

2024

B732i

Borges-Machado, André Luiz

Isotermas de sorção, cinética de secagem e propriedades termodinâmicas de plantas alimentícias não convencionais / André Luiz Borges-Machado. -- São José do Rio Preto, 2024

189 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto

Orientador: Javier Telis-Romero

Coorientadora: Priscila Alonso dos Santos

1. Ora-pro-nóbis. 2. Taioba. 3. Sementes de pimenta Jalapeño. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

André Luiz Borges Machado

**ISOTERMAS DE SORÇÃO, CINÉTICA DE SECAGEM E
PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DE PLANTAS ALIMENTÍCIAS
NÃO CONVENCIONAIS**

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadoras: CAPES (001), CNPq (314459/2021-9) e FAPESP (2022/05272-8)

Orientador: Prof. Dr. Javier Telis Romero

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Priscila Alonso dos Santos

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Guadalupe Luna Solano

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Javier Telis Romero
(Presidente / Orientador – DETA/IBILCE)

Prof. Dr. Osvaldo Resende
(IF Goiano – Câmpus Rio Verde)

Prof^a. Dr^a. Fernanda Ferreira Freitas
(IQ/UFG – Câmpus Samambaia)

Dr^a. Bianca Guimarães
(DETA/IBILCE)

São José do Rio Preto

23 de maio 2024

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Lauro e Divina Márcia e à minha irmã, Laura. Dedico também, a todos aqueles que contribuíram de certa forma para que eu chegasse até aqui.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus e a Meishu-Sama pela sabedoria, calma e luz recebida para que eu pudesse chegar até aqui.

Aos meus pais, Lauro e Divina Márcia, e minha irmã Laura pela confiança, carinho, por nunca duvidarem do meu potencial e serem o meu combustível para lutar durante toda essa caminhada que chamamos de vida.

Ao meu estimado orientador Prof. Dr. Javier Telis Romero pela confiança, apoio, atenção e por sempre me estimular a pensar além.

À minha amiga e coorientadora Prof. Dra. Priscila Alonso dos Santos pela amizade, por permitir que eu realizasse os experimentos de secagem no laboratório sob sua responsabilidade no IF Goiano, e por quando eu ainda estava na graduação me estimular a fazer mestrado e doutorado.

A todos os professores que tive desde 1997, quando comecei meus estudos.

Aos meus amigos, Dr. Marcio Augusto Ribeiro Sanches e Dra. Maria Júlia Neves Martins, confesso que não encontrei palavras para expressar à minha gratidão a vocês. Vocês me fortaleceram quando pensei em desistir.

À minha amiga, Dra. Kamilla Soares Silva, pela amizade, parceria durante estes 6 anos de pós-graduação e, por me ajudar a sempre enxergar além do que meus olhos conseguem ver.

Aos meus amigos, Lauro Filho, Jesus Galvão, Juliana Parize, Cláudia Catarino, Luciana Parize, Maria Siqueira, Raíssa Matos e Jerônimo Moraes, por acreditarem em mim quando eu nem eu mesmo acreditava.

Aos colegas de doutorado: Caroline Fuzetti, Mari Garcia, Rodrigo Evangelista, Marcello Bertucci e Micael Almeida me fizeram rir perante as dificuldades e gargalhar com as facilidades.

Agradeço a você, que se porventura esqueci-me de mencionar aqui, mas contribuiu para que eu chegasse aqui. Meus sinceros agradecimentos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À FAPESP, pelo apoio financeiro, concedido por meio do Processo nº 2022/05272-8, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de recursos (processo 314459/2021-9).

E como diria Snoop Dogg: Por último, mas não menos importante, quero agradecer-me por acreditar em mim. Quero agradecer-me por fazer todo esse trabalho duro. Quero agradecer por não ter folga. Eu quero agradecer por nunca desistir. Quero agradecer-me por sempre ser doador e tentar dar mais do que recebo. Quero agradecer por tentar fazer mais certo do que errado. Quero agradecer-me por ser apenas eu em todos os momentos.

EPÍGRAFE

*“Sou como a haste fina
Qualquer brisa verga
Nenhuma espada corta”
(Maria Bethânia Viana Teles Veloso)*

RESUMO

O problema da insegurança alimentar mundial já não estava indo ao encontro de uma solução até 2030 conforme prevê o programa da FAO para zerar a fome até o citado ano. A pandemia de COVID-19 agravou ainda mais o problema. No Brasil, a insegurança alimentar é realidade para aproximadamente 9 milhões de brasileiros. Neste contexto, muitas plantas consideradas invasoras, pragas ou inços, na verdade, possuem grande potencial alimentício e podem contribuir para a redução da insegurança. A fim de se fornecer informações sobre o comportamento higroscópico em temperaturas de armazenamento (5-40 °C) e de secagem (40-80 °C), foram determinadas as isotermas de sorção das folhas de ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller), folhas, pecíolo e rizoma de taioba (*Xanthosoma taioba* E.C.Gonç.) e de sementes de pimenta Jalapeño (*Capsicum annuum*) via método gravimétrico utilizando soluções saturadas de diferentes sais. Dentre os cinco modelos ajustados aos dados experimentais via regressão não linear, o modelo de GAB foi escolhido para descrever as isotermas das plantas estudadas, bem como apresentaram formato sigmoide sendo classificadas como BET Tipo II. O teor de água de equilíbrio aumentou com o incremento da umidade relativa e redução da temperatura para as plantas analisadas. O calor isostérico líquido de sorção das folhas de ora-pro-nóbis, folhas, pecíolo e rizoma de taioba e das sementes de pimenta Jalapeño diminuiu com o aumento do teor de água de equilíbrio. A teoria da compensação entalpia-entropia foi comprovada nas condições de armazenamento e secagem. Os mecanismos de dessorção de todas as plantas estudadas não são espontâneos. Com relação à cinética de secagem, o modelo de Weibull foi o que melhor descreveu a razão de teor de água em função do tempo para as folhas de ora-pro-nóbis, rizoma de taioba e sementes de pimenta Jalapeño. Já o modelo Logarítmico melhor se ajustou aos dados de folhas e pecíolos de taioba. O coeficiente de difusão aumentou com o incremento da temperatura de secagem para as diferentes partes de planta. A energia de ativação das folhas de ora-pro-nóbis, folhas, pecíolo e rizoma de taioba e das sementes de pimenta Jalapeño foi estimada, em $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, em 65,81; 68,47; 34,80; 29,68 e 30,30; respectivamente.

Palavras-chave: Modelo de GAB. Taioba. Pimenta Jalapeño. Ora-pro-nóbis. Modelo de Weibull.

ABSTRACT

The problem of global food insecurity was not on track to be solved by 2030 as envisioned by the FAO program to eradicate hunger by that year. The COVID-19 pandemic further exacerbated the issue. In Brazil, food insecurity is a reality for approximately 9 million Brazilians. In this context, many plants considered invasive, pests, or weeds have great food potential and can contribute to reducing insecurity. To provide information on the hygroscopic behavior at storage temperatures (5-40 °C) and drying temperatures (40-80 °C), the sorption isotherms of ora-pro-nóbis leaves (*Pereskia aculeata* Miller), leaves, stems, and tubers of taioba (*Xanthosoma taioba* E.C.Gonç.), and Jalapeño pepper seeds (*Capsicum annuum*) were determined using the gravimetric method with saturated solutions of different salts. Among the five models fitted to the experimental data via nonlinear regression, the GAB model was chosen to describe the isotherms of all the plants studied, which exhibited a sigmoidal shape and were classified as BET Type II. The equilibrium moisture content increased with increasing relative humidity and decreasing temperature for all plants. The net isosteric heat of sorption of ora-pro-nóbis leaves, leaves, stems, and tubers of taioba, and Jalapeño pepper seeds decreased with increasing equilibrium moisture content. The enthalpy-entropy compensation theory was confirmed under storage and drying conditions. The desorption mechanisms of all studied plants are non-spontaneous. Regarding drying kinetics, the Weibull model was the best fit to describe the moisture ratio as a function of time for ora-pro-nóbis leaves, taioba tubers, and Jalapeño pepper seeds. Meanwhile, the Logarithmic model better fit the data for taioba leaves and stems. The diffusion coefficient increased with increasing drying temperature for the different plant parts. The activation energy of ora-pro-nóbis leaves, leaves, stems, and tubers of taioba, and Jalapeño pepper seeds was estimated, in $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, at 65.81, 68.47, 34.80, 29.68, and 30.30, respectively.

Keywords: GAB model. Cocoyam. Jalapeño pepper. Ora-pro-nóbis. Weibull model.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1 – Revisão de literatura

Figura 1 - Ora-pro-nóbis (<i>Pereskia aculeata</i> Miller)	27
Figura 2 - Flores e frutos de ora-pro-nóbis.....	27
Figura 3 - Morfologia geral da taioba (<i>Xanthosoma</i> sp.) típica.....	30
Figura 4 - <i>Xanthosoma taioba</i> cultivada no Movimento Planta e Vida em Rio Verde – GO.....	30
Figura 5 - Pimenta jalapeño (<i>Capsicum annuum</i>)	32
Figura 6 - Taxas relativas das principais alterações de alimentos em razão da atividade de água.....	35
Figura 7 - Isotermas de adsorção e dessorção	37
Figura 8 - Os cinco tipos de isotermas de sorção de van der Waals.	38
Figura 9 - Calor isostérico de sorção em função do teor de água.....	42
Figura 10 - Curva típica de secagem	46
Figura 11 - Taxa de secagem em função do teor de água	47

Capítulo 2 – Water desorption isotherms and thermodynamic properties of Ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller)

Figure 1 - Desorption isotherms of ora-pro-nóbis leaves at storage (a) and drying (b) temperatures.....	69
Figure 2 - Determination of the optimal water activity for preservation of ora-pro-nóbis leaves.	72
Figure 3 - Calculated net isosteric heat of desorption of ora-pro-nóbis leaves as function of the equilibrium moisture content.....	73
Figure 4 - Calculated differential enthalpy and differential entropy of ora-pro-nóbis leaves as function of the equilibrium moisture content.	75
Figure 5 - Linear relationship between net isosteric heat of desorption and entropy.....	76

Capítulo 3 - Thin layer convective drying kinetics of ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller) leaves

Figure 1 – Experimental and estimated values by the Weibull model for the drying of ora-pro-nóbis (<i>Pereskia aculeata</i> Miller) leaves at temperatures of 50, 60, 70, and 80 °C.....	96
--	----

Figure 2 - Effective diffusion coefficient of ora-pro-nóbis drying plotted as function temperatures of 50, 60, 70, and 80 °C.97

Figure 3 – Linearized Arrhenius plot of the effective diffusion coefficient at 50, 60, 70, and 80 °C for ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller) leaves.97

Capítulo 4 - Desorption properties of taioba (*Xanthosoma taioba* E.G. Gonç.) leaves, stems, and tubers: A non-conventional edible plant

Figure 1 – Water desorption isotherms of taioba leaves adjusted to the GAB model under storage (a) and drying (b) conditions..... 115

Figure 2 – Water desorption isotherms of taioba stems adjusted to the GAB model under storage (a) and drying (b) conditions..... 115

Figure 3 – Water desorption isotherms of taioba tubers adjusted to the GAB model under storage (a) and drying (b) conditions..... 115

Figure 4 – Net isosteric heat of desorption of taioba leaves, stems, and tubers as a function of the equilibrium moisture content..... 120

Figure 5 - Entropy of taioba leaves, stems, and tubers as function of the equilibrium moisture content. 122

Figure 6 - Net isosteric heat of desorption of taioba leaves, stems, and tubers as function of the entropy..... 124

Capítulo 5 - Drying kinetics and thermodynamic approach of taioba (*Xanthosoma taioba* E. C. Gonç.): leaves, stems, and tubers

Figure 1 – Experimental and predicted values of moisture ratio as function of time (a) and calculated drying rates as function of moisture content (b) of taioba leaves at a temperature range from 40 °C to 80 °C..... 147

Figure 2 - Experimental and predicted values of moisture ratio as function of time (a) and calculated drying rates as function of moisture content (b) of taioba stems at a temperature range from 40 °C to 80 °C. 147

Figure 3 - Experimental and predicted values of moisture ratio as function of time (a) and calculated drying rates as function of moisture content (b) of taioba tubers at a temperature range from 40 °C to 80 °C..... 147

Capítulo 6 - Drying kinetics and water adsorption properties of jalapeño pepper seeds (*Capsicum annuum* L.): A study aiming at their recovery and integral exploitation

Figure 1 - Comparison between the experimental moisture ratios of Jalapeño pepper seeds and those predicted by the Weibull model at different temperatures..... 170

Figure 2 - Comparison between the experimental equilibrium moisture contents of Jalapeño pepper seeds and those predicted by the GAB model at storage (a) and drying (b) temperatures. 174

Figure 3 - Net isosteric heat of adsorption (a) and differential entropy (b) as function of equilibrium moisture content..... 178

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1 – Revisão de literatura

Tabela 1 - Modelos matemáticos empregados em cinética de secagem de produtos alimentícios	48
---	----

Capítulo 2 – Water desorption isotherms and thermodynamic properties of Ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller)

Table 1 - Mathematical models for adjusting the isotherms of ora-pro-nóbis leaves.....	65
Table 2 - Constants and fitting parameters of the sorption equations for ora-pro-nóbis leaves.	70

Capítulo 3 - Thin layer convective drying kinetics of ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller) leaves

Table 1 - Estimated coefficients and fitting parameters of the models selected to represent the drying curves at different temperatures of ora-pro-nóbis (<i>Pereskia aculeata</i> Miller) leaves....	93
Table 2 - Values of enthalpy (H), entropy (S) and Gibbs free energy (G) for different drying air temperatures of ora-pro-nóbis (<i>Pereskia aculeata</i> Miller) leaves.	98

Capítulo 4 - Desorption properties of taioba (*Xanthosoma taioba* E.G. Gonç.) leaves, stems, and tubers: A non-conventional edible plant

Table 1 - Mathematical models for adjusting the desorption isotherms of taioba parts.	110
Table 2 - Coefficients predicted by the GAB model fitted to the desorption data and fitting parameters of taioba leaves, stems, and tubers at storage and drying conditions.....	116
Table 3 - Estimated coefficients of Riedel model and adjusted coefficient of determination.	120

Capítulo 5 - Drying kinetics and thermodynamic approach of taioba (*Xanthosoma taioba* E. C. Gonç.): leaves, stems, and tubers

Table 1 - Mathematical models applied to the drying curves of taioba leaves, stems, and tubers.	141
---	-----

Table 2 - Estimated coefficients and fitting parameters of the models selected to represent the drying curves at different temperatures of taioba leaves, stems, and tubers.	144
Table 3 - Estimated effective diffusion coefficients at different temperatures of drying for taioba leaves, stems, and tubers.....	148
Table 4 – Calculated pre-exponential factor, activation energy and adjusted coefficient of determination of taioba leaves, stems, and tubers.	149
Table 5 - Estimated enthalpy, entropy and Gibbs free energy of taioba leaves, stems, and tubers at different drying temperatures.	150

Capítulo 6 - Drying kinetics and water adsorption properties of jalapeño pepper seeds (*Capsicum annuum* L.): A study aiming at their recovery and integral exploitation

Table 1 - Chemical characteristics of jalapeño pepper seeds (JPS) oil.....	169
Table 2 - Coefficients and fitting parameters of the models applied to the drying kinetics data of JPS.....	171
Table 3 - Calculated effective diffusion coefficient and adjusted coefficient of determination of the linear regression at different temperatures of drying.	173
Table 4 - Coefficients and fitting parameters of the models applied to the adsorption data of JPS.	176

LISTA DE TABELAS SUPLEMENTARES

Capítulo 2 – Water desorption isotherms and thermodynamic properties of Ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller)

Table S1 - Water activity of saturated salt solutions at different temperatures..... 85

Table S2 - Ora-pro-nobis experimental data of equilibrium moisture content versus water activity at storage and drying temperatures..... 86

Capítulo 4 - Desorption properties of taioba (*Xanthosoma taioba* E.G. Gonç.) leaves, stems, and tubers: A non-conventional edible plant

Table S1 - Water activity of saturated salt solutions at different temperatures (Labuza, 1963).
..... 133

Table S2- Parameters predicted by the models fitted to the desorption data of taioba leaves at storage and drying conditions..... 134

Table S3 - Parameters predicted by the models fitted to the desorption data of taioba stems at storage and drying conditions..... 135

Table S4 - Parameters predicted by the models fitted to the desorption data of taioba tubers at storage and drying conditions..... 136

Capítulo 5 - Drying kinetics and thermodynamic approach of taioba (*Xanthosoma taioba* E. C. Gonç.): leaves, stems, and tubers

Table S1 - Estimated coefficients and fitting parameters of the models tested in the drying data of taioba leaves. 155

Table S2 - Estimated coefficients and fitting parameters of the models tested in the drying data of taioba stems. 156

Table S3 - Estimated coefficients and fitting parameters of the models tested in the drying data of taioba tubers. 157

Capítulo 6 - Drying kinetics and water adsorption properties of jalapeño pepper seeds (*Capsicum annuum* L.): A study aiming at their recovery and integral exploitation

Table S1 - Water activity of saturated salt solutions at different temperatures..... 188

SUMÁRIO

Introdução	20
Objetivos	23
<i>Objetivos gerais</i>	23
<i>Objetivos específicos</i>	23
1 Capítulo 1 - Revisão de literatura	24
1.1 <i>Segurança alimentar e Plantas alimentícias não convencionais</i>	24
1.2 <i>Ora-pro-nóbis (Pereskia aculeata Miller)</i>	26
1.3 <i>Taioba (Xanthosoma taioba E.C.Gonç)</i>	28
1.4 <i>Sementes de pimenta Jalapeño (Capsicum annuum var. annuum)</i>	31
1.5 <i>Água nos alimentos</i>	33
1.6 <i>Isotermas de sorção</i>	36
1.6.1 <i>Modelo de GAB</i>	38
1.6.2 <i>Modelo de Peleg</i>	39
1.6.3 <i>Modelo de Oswin</i>	39
1.6.4 <i>Modelo de Halsey</i>	40
1.6.5 <i>Modelo de Henderson</i>	40
1.7 <i>Propriedades termodinâmicas de sorção de água</i>	40
1.8 <i>Desidratação de alimentos: Secagem</i>	43
1.9 <i>Cinética de secagem</i>	45
1.10 <i>Referências</i>	49
2 Capítulo 2 - Water desorption isotherms and thermodynamic properties of Ora-pro-nóbis (Pereskia aculeata Miller)	61
2.1 <i>Introduction</i>	62
2.2 <i>Material and methods</i>	63
2.2.1 <i>Raw material</i>	63
2.2.2 <i>Proximate composition</i>	64
2.2.3 <i>Determination of the desorption isotherms</i>	64
2.2.4 <i>Modelling of desorption isotherms</i>	65
2.2.5 <i>Optimal water activity</i>	66
2.2.6 <i>Thermodynamic properties</i>	66
2.3 <i>Results and discussion</i>	68
2.3.1 <i>Proximate composition</i>	68
2.3.2 <i>Desorption isotherms</i>	68
2.3.3 <i>Optimal storage conditions</i>	72
2.3.4 <i>Thermodynamic properties</i>	72

2.4	<i>Conclusion</i>	76
2.5	<i>References</i>	77
2.6	<i>Supplementary tables</i>	85
3	Capítulo 3 - Thin layer convective drying kinetics of ora-pro-nóbis (<i>Pereskia aculeata</i> Miller) leaves	87
3.1	<i>Introduction</i>	88
3.2	<i>Material and methods</i>	89
3.2.1	Raw material.....	89
3.2.2	Drying experiments	89
3.2.3	Drying kinetics and modelling	90
3.2.4	Effective diffusion coefficient (D_{eff}) and activation energy (E_a).....	91
3.2.5	Enthalpy (ΔH), entropy (ΔS) and Gibbs free energy (ΔG)	91
3.2.6	Statistical analysis	92
3.3	<i>Results and discussion</i>	92
3.4	<i>Conclusion</i>	99
3.5	<i>References</i>	99
4	Capítulo 4 - Desorption properties of taioba (<i>Xanthosoma taioba</i> E.G. Gonç.) leaves, stems, and tubers: A non-conventional edible plant	105
4.1	<i>Introduction</i>	106
4.2	<i>Material and methods</i>	108
4.2.1	Raw material.....	108
4.2.2	Proximate composition of taioba leaves, stems, and tubers	109
4.2.3	Desorption isotherms.....	109
4.2.4	Modelling of desorption isotherms.....	110
4.2.5	Thermodynamic approach.....	111
4.3	<i>Results and discussion</i>	113
4.3.1	Proximate composition of taioba leaves, stems, and tubers.	113
4.3.2	Desorption isotherms modeling.....	113
4.3.3	Thermodynamic approach.....	119
4.4	<i>Conclusion</i>	124
4.5	<i>References</i>	125
5	Capítulo 5 - Drying kinetics and thermodynamic approach of taioba (<i>Xanthosoma taioba</i> E. C. Gonç.): leaves, stems, and tubers	137
5.1	<i>Introduction</i>	138
5.2	<i>Material and methods</i>	140
5.2.1	Raw material.....	140

5.2.2	Drying experiments	140
5.2.3	Effective diffusion coefficient (Deff) and activation energy (Ea).....	142
5.2.4	Enthalpy (ΔH), entropy (ΔS) and Gibbs free energy (ΔG)	142
5.2.5	Statistical analysis	143
5.3	<i>Results and discussion</i>	143
5.3.1	Drying curves and modeling	143
5.3.2	Effective diffusion coefficient (Deff) and activation energy (Ea).....	148
5.3.3	Enthalpy (ΔH), entropy (ΔS) and Gibbs free energy (ΔG)	149
5.4	<i>Conclusion</i>	150
5.5	<i>References</i>	151
5.6	<i>Supplementary tables</i>	155
6	Capítulo 6 - Drying kinetics and water adsorption properties of jalapeño pepper seeds (<i>Capsicum annuum</i> L.): A study aiming at their recovery and integral exploitation....	158
6.1	<i>Introduction</i>	159
6.2	<i>Material and methods</i>	161
6.2.1	Raw material.....	161
6.2.2	Characterization of jalapeño pepper seeds (JPS).....	161
6.2.3	Convective hot air drying of JPS.....	163
6.2.4	Effective diffusion coefficient (Deff) and activation energy (Ea).....	164
6.2.5	Water adsorption isotherms of JPS.....	164
6.2.6	Thermodynamic properties of JPS adsorption.....	165
6.2.7	Statistical analysis	166
6.3	<i>Results and discussion</i>	167
6.3.1	Chemical composition	167
6.3.2	Chemical characterization of jalapeño pepper seed (JPS) oil.....	168
6.3.3	Drying curves of JPS and kinetics modeling.....	169
6.3.4	Moisture diffusivity and activation energy.....	172
6.3.5	Water adsorption isotherms of JPS and modeling.....	173
6.3.6	Thermodynamic properties of JPS adsorption.....	177
6.4	<i>Conclusion</i>	178
6.5	<i>References</i>	179
7	Conclusão	189

INTRODUÇÃO

Antes da pandemia de COVID-19, o problema da insegurança alimentar não estava indo ao encontro de uma solução até 2030. A prevalência de desnutrição que permaneceu constante nos últimos cinco anos, aumentou 1,5% em 2020 e atingiu um nível de 9,9%, tornando este objetivo ainda mais desafiador (FAO *et al.*, 2021). No Brasil, nos últimos dois anos, o número de pessoas vivendo em severa insegurança alimentar saltou de 10,3 para 19,1 milhões. Neste período, a fome se tornou realidade para aproximadamente 9 milhões de brasileiros (PENSSAN, 2021).

A insegurança alimentar existente é justificada pela incapacidade das classes mais pobres de obterem os alimentos necessários para uma alimentação saudável e equilibrada. As projeções de crescimento populacional, da expansão das cidades, do aumento do consumo per capita e das restrições no uso de terra nas próximas décadas fazem mais relevante o debate sobre a incapacidade de atender às necessidades humanas por alimentos (SAATH; FACHINELLO, 2018).

Uma das alternativas para solução da insegurança alimentar é a pesquisa sobre plantas de potencial alimentício, entretanto, pouco consumidas. Muitas plantas são denominadas “daninhas”, “invasoras”, “inços” e até nocivas, somente devido ao fato de se desenvolverem em meio às culturas tradicionais ou em locais em que as pessoas acham que não podem ou não devem ocorrer. No entanto, muitas destas espécies têm grande importância alimentícia (KINUPP; LORENZI, 2014). Plantas alimentícias não convencionais (PANC) são aquelas presentes em determinadas localidades ou regiões exercendo influência na alimentação de uma população tradicional, entretanto não estão organizadas enquanto cadeia produtiva propriamente dita (BRASIL, 2010).

As PANC geram autonomia para as pessoas que desejam buscar os nutrientes que necessitam e os sabores que mais lhe agradam. Em conjunto, integradas com as comunidades humanas, culturas biodiversas, esta autonomia é também fator de autoafirmação e emancipação, no que se pode chamar de soberania alimentar e ecológica (KELEN *et al.*, 2015). Plantas como a ora-pro-nóbis, taioba e as sementes de pimenta Jalapeño podem ser consideradas PANC.

A ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller) é uma planta trepadeira, que pertence à família *Cactaceae*, sendo nativo do Sul e América Central e América tropical, que é naturalmente distribuído do Nordeste para o sul do Brasil (SHARIF *et al.*, 2013). Suas folhas suculentas são uma ótima fonte de proteínas (26% p/p) e apresenta níveis importantes de minerais, fibras alimentares, vitaminas A e C, além de ácido fólico (SOUZA *et al.*, 2016).

A taioba (*Xanthosoma taioba* E.G. Gonç.) é uma herbácea tuberosa, acaule, com altura variando entre 50-90 cm, nativa de Minas Gerais e possui folhas membranáceas medindo entre 20-35 cm de comprimento e pecíolo ereto e esponjoso de comprimento entre 30-50 cm. É fonte de minerais com o cálcio, magnésio, manganês, ferro e zinco, além de vitamina C e carotenos. As folhas, pecíolos e rizoma podem ser utilizado na alimentação humana, desde que sejam bem refogados para eliminação do oxalato de cálcio presente. Por muito tempo, acreditava-se que esta planta era pertencente à espécie *Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott, originária da América Central, até que um estudo mais detalhado demonstrou que a taioba brasileira é uma nova espécie (KINUPP; LORENZI, 2014).

As sementes de pimenta Jalapeño apresentam uma composição rica em nutrientes, contendo aproximadamente 43% de fibras, 20% de proteínas e 17% de lipídios (SANDOVAL-CASTRO *et al.*, 2014, 2017). O elevado teor de fibras dessas sementes ressalta seu potencial para serem recuperadas e utilizadas como ingredientes em alimentos processados (BOUAZIZ *et al.*, 2020; GARCIA *et al.*, 2020). Além disso, a possibilidade de recuperar as proteínas das sementes está alinhada com a crescente tendência global de aproveitar as proteínas vegetais como uma fonte nutritiva de destaque na dieta humana (SÁ *et al.*, 2020).

Neste contexto, a qualidade de um material biológico pode ser preservada mediante estudo de parâmetros como secagem e armazenamento. Informações sobre o teor de água de equilíbrio desses materiais é imprescindível, pois define as condições adequadas para o armazenamento de frutas e hortaliças (SOUSA *et al.*, 2014).

Isotermas de sorção de água são consideradas uma importante ferramenta da termodinâmica para determinar a interação entre os componentes de um alimento e a água. As isotermas são gráficos que relacionam o teor de água de equilíbrio e a umidade relativa do ambiente, em temperatura constante, e fornecem informações relevantes para o processamento de alimentos como a secagem, embalagem e armazenamento (KUMAR; MISHRA, 2006; TONON *et al.*, 2009). Diversos modelos matemáticos são utilizados para descrever as isotermas de sorção: modelos cinéticos baseados na monocamada (modelo de BET), modelos cinéticos baseados na multicamada (modelo de GAB), modelos semi-empíricos (Ferro-Fontan, Henderson, Halsey, etc) e modelos empíricos (Smith, Oswin, etc.) (CORRÊA *et al.*, 2016).

A secagem é uma operação unitária em que ocorre a aplicação de calor sob condições controladas a fim de remover a maior quantidade de água possível de um alimento, por evaporação, visando a redução de massa e volume e estender a vida de prateleira (FELLOWS, 2019). A secagem de produtos agrícolas pode ser descrita por modelos matemáticos teóricos,

semiteóricos e empíricos. Os modelos teóricos consideram as transferências de calor e massa na interface produto-ar de secagem e no interior do produto. Já os modelos semiteóricos e os empíricos consideram somente a resistência externa à temperatura e a umidade relativa do ar (FARIA *et al.*, 2012).

Visando contribuir para diminuição da insegurança alimentar apresentando dados que auxiliam no processamento e armazenamento de alimentos pouco consumidos, neste trabalho objetivou-se determinar as isotermas de sorção, bem como calcular as propriedades termodinâmicas de *ora-pro-nóbis*, taioba e sementes de pimenta Jalapeño em diferentes temperaturas que simulem condições de armazenamento e de secagem. Ademais, objetivou-se ajustar modelos matemáticos que descrevam a cinética de secagem e viabilizem os cálculos dos coeficientes de difusão e da energia de ativação para os materiais analisados.

1.10 REFERÊNCIAS

- ABRAMO, M. A. **Taioba, cará e inhame: o grande potencial inexplorado**. São Paulo: Ícone, 1990. 1990.
- ABRANDH. **O Direito Humano à Alimentação Adequada e o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional**. Brasília: ABRANDH, 2013. 2013. Disponível em: http://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/seguranca_alimentar/DHAA_SAN.pdf.
- AGOSTINI-COSTA, T. S. Bioactive compounds and health benefits of Pereskioideae and Cactoideae: A review. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 327, n. April, 2020.
- AGUERRE, R. J.; SUÁREZ, C.; VIOLLAZ, P. E. Enthalpy-Entropy Compensation in Sorption Phenomena: Application to the Prediction of the Effect of Temperature on Food Isotherms. **Journal of Food Science**, [s. l.], v. 51, n. 6, p. 1547–1549, 1986. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2621.1986.tb13856.x>.
- APOSTOLOPOULOS, D.; GILBERT, S. G. Water Sorption of Coffee Solubles by Frontal Inverse Gas Chromatography: Thermodynamic Considerations. **Journal of Food Science**, [s. l.], v. 55, n. 2, p. 475–487, 1990.
- ARAÚJO, S. de S.; ARAÚJO, P. de S.; GIUNCO, A. J.; SILVA, S. M.; ARGANDOÑA, E. J. S. Bromatology, food chemistry and antioxidant activity of *Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, [s. l.], v. 31, n. 3, p. 188–195, 2019.
- ARAÚJO, L. F.; OLIVEIRA, L. S. C.; PERAZZO NETO, A.; ALSINA, O. L. S.; SILVA, F.

L. H. Equilíbrio higroscópico da palma forrageira: relação com a umidade ótima para fermentação sólida. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 379–384, 2005.

AZEREDO, H. M. C. De. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. Embrapa Ined. Brasília: Embrapa, 2012. Disponível em: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Fundamentos+de+estabilidade+de+alimentos#0>.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; FERNÁNDEZ-MOLINA, J. J.; ALZAMORA, S. M.; TAPIA, M. S.; LÓPEZ-MALO, A.; CHANES, J. W. **Handling and Preservation of Fruits and Vegetables by Combined Methods for Rural Areas**. Rome: FAO, 2003. 2003.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; FONTANA, A. J.; SCHMIDT, S. J.; LABUZA, T. P. **Water Activity in Foods**. 2nd. ed. Chicago: John Wiley & Sons, 2020. 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118765982>.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; JULIANO, P. Desorption Phenomena in Food Dehydration Processes. *In*: BARBOSA-CÁNOVAS, Gustavo V.; FONTANA JR., Anthony J.; SCHMIDT, Shelly J.; LABUZA, Theodore P. (org.). **Water Activity in Foods**. 2nd. ed. Chicago: John Wiley & Sons, 2020. p. 425–452. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118765982.ch17>.

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

BASU, S.; SHIVHARE, U. S.; MUJUMDAR, A. S. Models for sorption isotherms for foods: A review. **Drying Technology**, [s. l.], v. 24, n. 8, p. 917–930, 2006.

BERISTAIN, C. I.; GARCIA, H. S.; AZUARA, E. Enthalpy-entropy compensation in food vapor adsorption. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 30, n. 3–4, p. 405–415, 1996.

BEUCHAT, L. R. Influence of Water Activity on Growth, Metabolic Activities and Survival of Yeasts and Molds. **Journal of Food Protection**, [s. l.], v. 46, n. 2, p. 135–141, 1983. Disponível em: <https://meridian.allenpress.com/jfp/article/46/2/135/165746/Influence-of-Water-Activity-on-Growth-Metabolic>.

BIONDO, E.; FLECK, M.; KOLCHINSKI, E. M.; SANT'ANNA, V. Diversidade e potencial de utilização de plantas alimentícias não convencionais no Vale do Taquari,RS. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 61–90, 2018.

BOQUET, R.; CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Equations for fitting water sorption isotherms of foods: II. Evaluation of various two-parameter models. **International Journal of Food Science & Technology**, [s. l.], v. 13, n. 4, p. 319–327, 1978.

BOUAZIZ, M. A.; BCHIR, B.; BEN SALAH, T.; MOKNI, A.; BEN HLIMA, H.; SMAOUI, S.; ATTIA, H.; BESBES, S. Use of Endemic Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Seeds as an Insoluble Dietary Fiber: Effect on Turkey Meat Quality. **Journal of Food Quality**, [s. l.], v. 2020, 2020.

BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, P. e A. **Hortaliças não-convencionais: (tradicionalis)**. Brasília: MAPA/ACS, 2010. 2010. Disponível em: https://www.abcsem.com.br/docs/cartilha_hortaliças.pdf.

BRUNAUER, S.; DEMING, L. S.; DEMING, W. E.; TELLER, E. On the theory of the van der Waals adsorption of gases. **Journal of the American Chemical Society**, [s. l.], v. 62, n. 7, p. 1723–1732, 1940.

BURITY, V.; FRANCESCHINI, T.; VALENTE, F.; RECINE, E.; LEÃO, M.; CARVALHO, M. F. **Direito Humano à Alimentação Adequada no Contexto da Segurança Alimentar e Nutricional**. Brasília: ABRANDH, 2010.

CABALLERO-CERÓN, C.; GUERRERO-BELTRÁN, J. A.; MÚJICA-PAZ, H.; TORRES, J. A.; WELTI-CHANES, J. Moisture Sorption Isotherms of Foods: Experimental Methodology, Mathematical Analysis, and Practical Applications. *In*: WATER STRESS IN BIOLOGICAL, CHEMICAL, PHARMACEUTICAL AND FOOD SYSTEMS. [S. l.: s. n.], 2015. p. 187–214. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/978-1-4939-2578-0_15.

CAMPI, M.; DUEÑAS, M.; FAGIOLO, G. Specialization in food production affects global food security and food systems sustainability. **World Development**, [s. l.], v. 141, p. 105411, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105411>.

CARVALHO, S. I. C.; BIANCHETTI, L. B.; RIBEIRO, C. S. C.; LOPES, C. A. **Pimentas do gênero *Capsicum* no Brasil**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2006. 2006.

CAURIE, M. Hysteresis phenomenon in foods. **International Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 42, n. 1, p. 45–49, 2007.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010. 2010.

COLE, M. B.; AUGUSTIN, M. A.; ROBERTSON, M. J.; MANNERS, J. M. The science of food security. **npj Science of Food**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 1–8, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41538-018-0021-9>.

CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H. de; OLIVEIRA, A. P. L. R. de; GONELI, A. L. D.; SILVA, M. G. Condições ambientais seguras para o armazenamento de folhas de fumo. **Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, [s. l.], v. 59, n. 2, p. 106–112, 2016. Disponível em: <http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/rca.2105>.

CRANK, J. **The Mathematics of Diffusion**. 2. ed. Oxford, UK: Clarendon Press, 1975.

CRAPISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. Design and performance evaluation of dryers. *In: HANDBOOK OF FOOD ENGINEERING PRACTICE*. Boca Raton: CRC Press, 1997.

CRUZ-GARCIA, G. S. Management and Motivations to Manage “Wild” Food Plants. A Case Study in a Mestizo Village in the Amazon Deforestation Frontier. **Frontiers in Ecology and Evolution**, [s. l.], v. 5, 2017. Disponível em: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fevo.2017.00127/full>.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 2010.

DE ALMEIDA, M. E. F.; JUNQUEIRA, A. M. B.; SIMÃO, A. A.; CORRÊA, A. D. Caracterização química das hortaliças não-convencionais conhecidas como ora-pro-nobis. **Bioscience Journal**, [s. l.], v. 30, n. 3 SUPPL. 1, p. 431–439, 2014.

DUARTE, M. R.; HAYASHI, S. S. Estudo anatômico de folha e caule de *Pereskia aculeata* Mill. (Cactaceae). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 103–109, 2005.

ERBAŞ, M.; AYKIN, E.; ARSLAN, S.; DURAK, A. N. Adsorption behaviour of bulgur. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 195, p. 87–90, 2016. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814615009425>.

ERBAY, Z.; ICIER, F. A Review of Thin Layer Drying of Foods: Theory, Modeling, and Experimental Results. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 50, n. 5, p. 441–464, 2010. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408390802437063>.

ESCOBEDO-AVELLANEDA, Z.; RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, V.; SERMENT-MORENO,

V.; VELÁZQUEZ, G.; WELTI-CHANES, J.; TORRES, J. A. Selected Applications of Water Activity Management in the Food Industry. *In*: BARBOSA-CÁNOVAS, Gustavo V.; FONTANA JR., Anthony J.; SCHMIDT, Shelly J.; LABUZA, Theodore P. (org.). **Water Activity in Foods**. 2nd. ed. Chicago: John Wiley & Sons, 2020. p. 465–482. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118765982.ch19>.

FAO. **Rome Declaration on World Food SecurityWorld Food Summit**. Roma: [s. n.], 1996.

FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO. **In brief to The state of food security and nutrition in the world. Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all**. Rome: [s. n.], 2021.

FARIA, R. Q. de; TEIXEIRA, I. R.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R.; RESENDE, O. Cinética de secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 16, n. 5, p. 573–583, 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662012000500014&lng=pt&tlng=pt.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e práticas**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2019. 2019.

FERNANDO, J. A. K. M.; AMARASINGHE, A. D. U. S. Drying kinetics and mathematical modeling of hot air drying of coconut coir pith. **SpringerPlus**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 807, 2016. Disponível em: <http://springerplus.springeropen.com/articles/10.1186/s40064-016-2387-y>.

GABAS, A. L.; TELIS-ROMERO, J.; MENEGALLI, F. C. Thermodynamic model for water sorption by grape skin and pulp. **Drying Technology**, [s. l.], v. 17, n. 4–5, p. 962–974, 1999. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07373939908917584>.

GARCIA, J. A. A.; CORRÊA, R. C. G.; BARROS, L.; PEREIRA, C.; ABREU, R. M. V.; ALVES, M. J.; CALHELHA, R. C.; BRACHT, A.; PERALTA, R. M.; FERREIRA, I. C. F. R. Phytochemical profile and biological activities of “Ora-pro-nobis” leaves (*Pereskia aculeata* Miller), an underexploited superfood from the Brazilian Atlantic Forest. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 294, n. May, p. 302–308, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.074>.

GARCIA, M. V.; MILANI, M. S.; RIES, E. F. Production optimization of passion fruit peel flour and its incorporation into dietary food. **Food Science and Technology International**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 132–139, 2020.

- GARVÍN, A.; IBARZ, R.; IBARZ, A. Kinetic and thermodynamic compensation. A current and practical review for foods. **Food Research International**, [s. l.], v. 96, p. 132–153, 2017.
- GEANKOPLIS, C. J. Drying of process materials. *In*: TRANSPORT PROCESSES AND UNIT OPERATIONS. 3. ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hal, 1993. p. 520–583.
- GIACOMETTI, D. C.; LEÓN, J. Tannia, yautia (*Xanthosoma sagittifolium*). *In*: NEGLECTED CROPS: 1942 FROM A DIFFERENT PERSPECTIVE. Rome: FAO, 1994. p. 341.
- GOMES, G. B.; RODARTE, M. F.; CAMPOS, R. F. B.; SANTOS, F. S. Caracterização do consumo da folha de taioba (*Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott) pela população da região pericentral do município de São Roque, SP. **Revista Eletrônica acadêmica IFSP – Campus São Roque**, [s. l.], v. 1, n. 3, p. 76–81, 2014.
- GONÇALVES, E. G. The Commonly Cultivated Species of *Xanthosoma* Schott (Araceae), including Four New Species. **Aroideana**, [s. l.], v. 34, n. 1, p. 3–23, 2011.
- HALSEY, G. Physical Adsorption on Non-Uniform Surfaces. **The Journal of Chemical Physics**, [s. l.], v. 16, n. 10, p. 931–937, 1948. Disponível em: <http://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.1746689>.
- HARDMAN, T. M. **Water and food quality**. 1. ed. London: Elsevier, 1987. 1987.
- HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES, F. T.; GENEVE, R. L. **Plant propagation: principles and practices**. 7. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002. 2002.
- HENDERSON, S. M. A basic concept of equilibrium moisture. **Agricultural Engineering**, [s. l.], v. 33, p. 29–33, 1952.
- HERNÁNDEZ-PÉREZ, T.; GÓMEZ-GARCÍA, M. del R.; VALVERDE, M. E.; PAREDES-LÓPEZ, O. Capsicum annuum (hot pepper): An ancient Latin-American crop with outstanding bioactive compounds and nutraceutical potential. A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, [s. l.], v. 19, n. 6, p. 2972–2993, 2020. Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1541-4337.12634>.
- IAL. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 2008.
- INYANG, U. E.; OBOH, I. O.; ETUK, B. R. Kinetic Models for Drying Techniques—Food Materials. **Advances in Chemical Engineering and Science**, [s. l.], v. 08, n. 02, p. 27–48, 2018.

IRANI, R.; KHALED, K. L.; DUTTA, C. Analysis of the Pattern of Complex Carbohydrates of Bamboo Shoot and Plantain Stem with Special Emphasis on its Impact on Metabolic Disorders. **International Journal of Engineering, Science and Mathematics**, [s. l.], v. 7, n. 4, 2018.

JACKIX, E. A. Propriedades funcionais de vegetais e efeitos da folha de taioba (*Xanthosoma sagittifolium*) sobre a saúde. **Revista Brasileira De Nutrição Funcional**, [s. l.], v. 1, n. 64, p. 31–38, 2015. Disponível em: <https://www.vponline.com.br/portal/noticia/pdf/5f71eba60f24ee6af7e075c59cea3e3f.pdf>.

JARRET, R. L.; LEVY, I. J.; POTTER, T. L.; CERMAK, S. C. Seed oil and fatty acid composition in *Capsicum* spp. **Journal of Food Composition and Analysis**, [s. l.], v. 30, n. 2, p. 102–108, 2013.

JORDAN, R. A.; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; FERREIRA, O. M.; QUEQUETO, W. D.; SIQUEIRA, V. C.; MENDOZA, V. da S.; FLOZINO, G. K. M.; SANCHES, Í. S.; SANCHES, É. S.; ANTUNES, B. M. Efeito de sistemas e condições de secagem sobre o consumo específico de energia e os compostos bioativos da taioba (*Xanthosoma sagittifolium* Schott). **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 10, n. 7, p. e21610716512, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/16512>.

KAREL, M.; LUND, D. B. **Physical Principles of Food Preservation**. New York: CRC Press, 2003. 2003.

KELEN, M. E. B.; NOUHUYS, I. S. V.; KEHL, L. C.; BRACK, P.; SILVA, D. B. **Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs): Hortaliças espontâneas e nativas**. 1. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2015. 2015. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwinrcHsjLPQAhUFhpAKHS-ECMMQFgggMAA&url=https://www.ufrgs.br/viveiroscomunitarios/wp-content/uploads/2015/11/Cartilha-15.11-online.pdf&usg=AFQjCNGf3ptibnfFRIIEHi2-u>.

KINUPP, V. F.; LORENZI, H. **Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas**. 1. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2014. 2014.

KUMAR, P.; MISHRA, H. N. Moisture sorption characteristics of mango-soy-fortified yogurt powder. **International Journal of Dairy Technology**, [s. l.], v. 59, n. 1, p. 22–28, 2006.

Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1471-0307.2006.00215.x>.

LABUZA, T. P. Sorption phenomena in foods. **Food Technology**, [s. l.], v. 22, p. 15–24, 1968.

LABUZA, T. P.; ALTUNAKAR, B. Diffusion and Sorption Kinetics of Water in Foods. *In*: BARBOSA-CÁNOVAS, Gustavo V.; FONTANA JR., Anthony J.; SCHMIDT, Shelly J.; LABUZA, Theodore P. (org.). **Water Activity in Foods**. 2nd. ed. Chicago: John Wiley & Sons, 2020. p. 287–309. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118765982.ch12>.

LETERME, P.; LONDOÑO, A. M.; ESTRADA, F.; SOUFFRANT, W. B.; BULDGEN, A. Chemical composition, nutritive value and voluntary intake of tropical tree foliage and cocoyam in pigs. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s. l.], v. 85, n. 10, p. 1725–1732, 2005.

LEWICKI, P. P. Data and Models of Water Activity. II: Solid Foods. *In*: FOOD PROPERTIES HANDBOOK. 2. ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2008.

LEWIS, G. N.; RANDALL, M. **Thermodynamics**. New York: McGraw Hill, 1961. 1961.

LIBERATO, P. da S.; LIMA, D. V. T. de; SILVA, G. M. B. da. PANCs - PLANTAS ALIMENTÍCIAS NÃO CONVENCIONAIS E SEUS BENEFÍCIOS NUTRICIONAIS. **ENVIRONMENTAL SMOKE**, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 102–111, 2019. Disponível em: <https://environmentalsmoke.com.br/index.php/EnvSmoke/article/view/64>.

LIMA, A. S. G.; KRUPEK, R. A. Caracterização morfológica, anatômica, e toxinas endógenas em *Colocasia esculenta* (L.) Schott e *Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott. **Luminária**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 31–40, 2016.

LU, Z. X.; HE, J. F.; ZHANG, Y. C.; BING, D. J. Composition, physicochemical properties of pea protein and its application in functional foods. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1651248>, [s. l.], v. 60, n. 15, p. 2593–2605, 2019.

MA, Y.; WU, X.; ZHAO, L.; WANG, Y.; LIAO, X. Comparison of the compounds and characteristics of pepper seed oil by pressure-assisted, ultrasound-assisted and conventional solvent extraction. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [s. l.], v. 54, p. 78–86, 2019.

MADEIRA, N. R.; SILVEIRA, G. S. R. **Ora-pro-nóbis**. São Paulo: Globo Rural, 2010. 2010.

MARIUTTI, L. R. B.; REBELO, K. S.; BISCONSIN-JUNIOR, A.; DE MORAIS, J. S.;

- MAGNANI, M.; MALDONADE, I. R.; MADEIRA, N. R.; TIENGO, A.; MARÓSTICA, M. R.; CAZARIN, C. B. B. The use of alternative food sources to improve health and guarantee access and food intake. **Food Research International**, [s. l.], v. 149, n. September, 2021.
- MARTIN, A. A.; DE FREITAS, R. A.; SASSAKI, G. L.; EVANGELISTA, P. H. L.; SIERAKOWSKI, M. R. Chemical structure and physical-chemical properties of mucilage from the leaves of *Pereskia aculeata*. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 70, p. 20–28, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268005X16306658>.
- MATHLOUTHI, M.; ROGÉ, B. Water vapour sorption isotherms and the caking of food powders. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 82, n. 1, p. 61–71, 2003. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814602005344>.
- MCMINN, W. A. M.; AL-MUHTASEB, A. H.; MAGEE, T. R. A. Enthalpy-entropy compensation in sorption phenomena of starch materials. **Food Research International**, [s. l.], v. 38, n. 5, p. 505–510, 2005.
- MICHAILIDIS, P. A.; KROKIDA, M. K. Drying and Dehydration Processes in Food Preservation and Processing. *In: CONVENTIONAL AND ADVANCED FOOD PROCESSING TECHNOLOGIES*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2014. p. 1–32. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118406281.ch1>.
- NIP, W. K. Manufacture of fermented product. **Handbook of Food Science, Technology, and Engineering - 4 Volume Set**, [s. l.], p. 3131–3154, 2005.
- OECD, O. para la C. y el D. E.; FAO, F. and A. O. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2021–2030**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <https://www.fao.org/publications/card/es/c/CB5339ES>. Acesso em: 26 fev. 2024.
- OKOS, M. R.; NARSIMHAN, G.; SINGH, R. K.; WEITNAUER, A. C. Food dehydration. *In: HELDMAN, R.; LUND, D. B. (org.). Handbook of Food Engineering*. New York: Marcel Dekker Inc., 1992. p. 437.
- PANCHARIYA, P. C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A. L. Thin-layer modelling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 52, n. 4, p. 349–357, 2002. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877401001261>.
- PASCHOAL, V.; BATTISTELLA, A. B.; SANTOS SOUZA, N. **Nutrição funcional e sustentabilidade: alimentando um mundo saudável**. São Paulo: VP Editora, 2015. 2015.

PELEG, M. ASSESSMENT of A SEMI-EMPIRICAL FOUR PARAMETER GENERAL MODEL FOR SIGMOID MOISTURE SORPTION ISOTHERMS. **Journal of Food Process Engineering**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 21–37, 1993. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1745-4530.1993.tb00160.x>.

PENSSAN. **National Survey of Food Insecurity in the Context of the Covid-19 Pandemic in Brazil**. [S. l.: s. n.], 2021.

PINTO, N. A. V. D.; FERNANDES, S. M.; THÉ, P. M. P.; CARVALHO, V. D. Variabilidade da composição centesimal, vitamina C, ferro e cálcio de parte da folha de taioba (*Xanthosoma sagittifolium* Schott). **Revista Brasileira de Agrociência**, [s. l.], v. 7, n. 3, p. 205–208, 2001.

QUEIROZ, C. R. A. dos A.; FERREIRA, L.; GOMES, L. B. de P.; MELO, C. M. T.; DE ANDRADE, R. R. Ora-pro-nóbis em uso alimentar humano: percepção sensorial. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 01, 2015. Disponível em: <http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/3393>.

RAHMAN, M. S. **Handbook of Food Preservation**. New York: CRC Press, 2007. 2007.

RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H.; ASHIM, K. D.; AHMED, J. **Engineering Properties of Foods**. Boca Raton: CRC Press, 2014. 2014.

REID, D. S. Water Activity. *In*: BARBOSA-CÁNOVAS, Gustavo V.; FONTANA JR., Anthony J.; SCHMIDT, Shelly J.; LABUZA, Theodore P. (org.). **Water Activity in Foods**. 2nd. ed. Chicago: John Wiley & Sons, 2020. p. 13–26. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118765982.ch2>.

RIBEIRO, C. S. C.; CARVALHO, S. I. C.; LANA, M. M. **Pimenta jalapeño|Para molho e muito mais**. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalica-nao-e-so-salada/pimenta-jalapeno>. Acesso em: 26 fev. 2024.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de Alimentos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2007. 2007.

RIZVI, S. S. H. Thermodynamic properties of foods in dehydration. *In*: RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H.; DATTA, A. K. (org.). **Engineering properties of foods**. 4th. ed. Boca Raton: CRC Press, 2014. p. 359–436.

RODRIGUES, I. R.; RAMOS, R. O.; QUEIROZ, C. R. A. A. Ora-pro-nóbis na mesa-aspecto agrônômico. **Boletim Técnico IFTM**, [s. l.], v. 4, n. 3, p. 40–43, 2019.

SÁ, A. G. A.; MORENO, Y. M. F.; CARCIOFI, B. A. M. Plant proteins as high-quality nutritional source for human diet. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 97, p. 170–184, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224419308994>.

SAATH, K. C. de O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da Demanda Mundial de Alimentos e Restrições do Fator Terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [s. l.], v. 56, n. 2, p. 195–212, 2018.

SANDOVAL-CASTRO, C. J.; VALDEZ-MORALES, M.; OOMAH, B. D.; GUTIÉRREZ-DORADO, R.; MEDINA-GODOY, S.; ESPINOSA-ALONSO, L. G. Bioactive compounds and antioxidant activity in scalded Jalapeño pepper industrial byproduct (*Capsicum annuum*). **Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 54, n. 7, p. 1999–2010, 2017.

SANDOVAL-CASTRO, C. J.; VALDEZ-MORALES, M.; PEREA-DOMÍNGUEZ, X. P.; MEDINA-GODOY, S.; ESPINOSA-ALONSO, L. G. Antioxidant activity of processed and raw seed byproduct from Jalapeño pepper. *J Chem Biol Phys Sci Spec*, (4), 5. **Journal of Chemical Biological and Physical Science**, [s. l.], v. 4, n. 5, 2014.

SARAVACOS, G.; KOSTAROPOULOS, A. E. **Handbook of Food Processing Equipment**. Cham: Springer International Publishing, 2016. (Food Engineering Series). Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-25020-5>.

SARTORI, V. C.; THEODORO, H.; MINELLO, L. V.; PANSERA, M. R.; BASSO, A.; SCUR, L. **Plantas Alimentícias Não Convencionais – PANC : resgatando a soberania alimentar e nutricional**. Caxias do Sul: Educs, 2020. 2020.

SHARIF, K. M.; RAHMAN, M. M.; ZAIDUL, I. S. M.; JANNATUL, A.; AKANDA, M. J. H.; MOHAMED, A.; SHAMSUDIN, S. H. Pharmacological Relevance of Primitive Leafy Cactuses *Pereskia*. **Research Journal of Biotechnology**, [s. l.], v. 8, n. 12, p. 134–142, 2013.

SOUSA, F. C. de; ROCHA, A. P. T.; GOMES, J. P.; MARTINS, J. J. A.; MARTINS, J. N. Isotermas de dessorção de folhas in natura de juazeiro e mororó. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [s. l.], v. 44, n. 3, p. 304–310, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-40632014000300009&lng=pt&tlng=pt.

SOUZA, L.; CAPUTO, L.; INCHAUSTI DE BARROS, I.; FRATIANNI, F.; NAZZARO, F.; DE FEO, V. *Pereskia aculeata* Muller (Cactaceae) Leaves: Chemical Composition and Biological Activities. **International Journal of Molecular Sciences**, [s. l.], v. 17, n. 9, p. 1478,

2016. Disponível em: <http://www.mdpi.com/1422-0067/17/9/1478>.

TAKEITI, C. Y.; ANTONIO, G. C.; MOTTA, E. M. P.; COLLARES-QUEIROZ, F. P.; PARK, K. J. Nutritive evaluation of a non-conventional leafy vegetable (*Pereskia aculeata* Miller). **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, [s. l.], v. 60, n. SUPPL. 1, p. 148–160, 2009.

TELIS, V. R. N.; MAURO, M. A. Desidratação. *In*: TADINI, Carmen Cecília; TELIS, Vânia Regina Nicoletti; MEIRELLES, Antonio José de Almeida; PESSOA FILHO, Pedro de Alcântara (org.). **Operações Unitárias na Indústria de Alimentos**. 1 edição. Rio de Janeiro: LTC, 2016. p. 77–148.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; BRABET, C.; GIBERT, O.; PALLET, D.; HUBINGER, M. D. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 94, n. 3–4, p. 215–221, 2009. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877409001344>.

VALDEZ-MORALES, M.; SANDOVAL-CASTRO, C. J.; GUTIÉRREZ-DORADO, R.; MENDOZA-ESPINOZA, J. A.; MEDINA-GODOY, S.; ESPINOSA-ALONSO, L. G. Oil Recovery from Jalapeño Pepper By-Products and Analysis of the Industrial Scalding Process on Its Nutraceutical Potential. **Waste and Biomass Valorization**, [s. l.], v. 12, n. 8, p. 4475–4487, 2021.

VAN DER BERG, C. Description of water activity of foods for engineering purposes by means of the GAB model of sorption. *In*: MCKENNA, B. M. (org.). **Engineering and Food**. London: Elsevier Applied Science, 1984. p. 311–321.

XU, L.; ZHANG, Y.; WANG, L. Structure characteristics of a water-soluble polysaccharide purified from dragon fruit (*Hylocereus undatus*) pulp. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 146, p. 224–230, 2016. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861716302892>.

7 Conclusão

Em todas as partes de plantas estudadas, o teor de água de equilíbrio aumentou com a redução da temperatura e o aumento da umidade relativa do ar aumentam o teor de água de equilíbrio. As isotermas de sorção apresentaram formato sigmoide, sendo classificadas com BET Tipo II e o modelo de GAB foi o mais adequado para descrever a relação entre o teor de água de equilíbrio e a atividade de água das PANC.

O calor isostérico de sorção e a entropia de sorção diminuíram com o aumento do teor de água de equilíbrio. A compensação entre a entalpia e a entropia foi confirmada em todas as partes de plantas apontando a dessorção como não espontânea e guiada pela entalpia na taioba e pela entropia na folhas de ora-pro-nóbis. A adsorção nas sementes de pimenta Jalapeño foi espontânea e guiada pela entalpia.

Com relação à cinética de secagem, observou-se que o modelo de Weibull foi o que melhor se ajustou as curvas de secagem das folhas de ora-pro-nóbis, rizoma de taioba e sementes de pimenta jalapeño, já o modelo Logarítmico foi o que melhor se ajustou aos das folhas e pecíolos de taioba. O coeficiente de difusão aumentou com o aumento da temperatura de secagem para as diferentes partes de planta. A energia de ativação das folhas de ora-pro-nóbis, folhas, pecíolo e rizoma de taioba e das sementes de pimenta Jalapeño foi calculada, em $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, em 65,81; 68,47; 34,80; 29,68 e 30,30; respectivamente.