



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DOS ALIMENTOS

Fabiani Cristina de Oliveira Santana

**SEMENTE DE PITAYA (*Hylocereus undatus* [Haw.] Britton & Rose) DE RESÍDUO À  
SUBPRODUTO:** Estudo para valorização da semente de pitaya orgânica catarinense

Florianópolis

2022

Fabiani Cristina de Oliveira Santana

**SEMENTE DE PITAYA (*Hylocereus undatus* [Haw.] Britton & Rose) DE  
RESÍDUO À SUBPRODUTO:** Estudo para valorização da semente de pitaya orgânica  
catarinense

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação  
em Ciência dos Alimentos da Universidade  
Federal de Santa Catarina para a obtenção do  
título de doutora em Ciência dos Alimentos.  
Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dra. Carmen Maria Olivera  
Müller.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Santana, Fabiani Cristina de Oliveira  
Semente de pitaya (*Hylocereus undatus* [haw.] Britton & Rose) de resíduo à subproduto: Estudo para valorização da semente de pitaya orgânica catarinense / Fabiani Cristina de Oliveira Santana ; orientadora, Carmen Maria Olivera Müller, 2022.  
263 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Ciência dos Alimentos. 2. Dragon fruit. 3. Hidrólise enzimática. 4. Secagem convectiva. 5. Economia Circular. I. Müller, Carmen Maria Olivera. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos. III. Título.

Fabiani Cristina de Oliveira Santana

**SEMENTE DE PITAYA (*Hylocereus undatus* [Haw.] Britton & Rose) DE  
RESÍDUO À SUBPRODUTO: Estudo para valorização da semente de pitaya orgânica  
catarinense**

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca  
examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof<sup>a</sup> Mônica Regina da Silva Scapim, Dra  
Universidade Estadual de Maringá

Prof<sup>a</sup> Maria Manuela Camilo Feltes, Dra  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof<sup>a</sup> Renata Dias de Mello Castanho Amboni, Dra  
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi  
julgado adequado para obtenção do título de doutora em Ciência dos Alimentos.

---

Prof<sup>a</sup>. Itaciara Larroza Nunes, Dra  
Coordenação do Programa de Pós-Graduação

---

Prof<sup>a</sup> Carmen Maria Olivera Müller, Dra  
Orientadora

Florianópolis, 2022

Dedico este trabalho àqueles que compartilham e  
acreditam na ciência.

## AGRADECIMENTOS

Iniciei minha graduação aos 30 anos, um sonho duramente conquistado que me ensinou que sonhos estão em constante renovação e que podemos nos permitir tê-los.

Concluo meu doutorado aos 43 anos, fato este que aos 30 nunca teria imaginado alcançar. Foi uma longa caminhada, de muitas vivências e grandes transformações, muitas destas, tendo diversas pessoas envolvidas, porque nossa história, embora nossa, dificilmente se faz sozinha. Foi um longo período em que vi meus filhos deixarem de ser crianças para se tornarem adultos. Estes, que cresceram em uma casa de estudiosos, hoje trilham um caminho parecido e esta, talvez, tenha sido minha maior conquista.

Mas esse período também foi marcado por acontecimentos externos que me afetaram grandemente. Sofri perdas que partiram fortemente meu coração, mas também me ensinaram e me amadureceram. Perdi minha sogra, nos isolamos em razão da pandemia, esta mesma que levou meu pai e a minha madrastra em 2021. Quase perdi minha mãe, mas ela ainda está aqui para compartilhar comigo desta realização. Cursei uma nova graduação, fiz concurso, meu esposo foi trabalhar em outro estado, minha filha ingressou na UFSC e meu filho no IFSC. Todas essas e outras mudanças, acontecimentos e vivências exigiram muitas concessões pessoais e tiveram um custo emocional, mas certamente, foram mais suaves devido às pessoas incríveis que, de alguma forma, estiveram comigo durante esta jornada.

Começo agradecendo a minha orientadora Carmen Müller, pelo apoio, suporte, ensinamentos, parceria e amizade. Nossa história teve início ainda na minha graduação e sou grata a ela pela confiança, por acreditar e por ajudar a me tornar uma pesquisadora. Não importa o quê, sempre serei grata a você!

Devo fazer um agradecimento especial a minha família. Meu marido, Fábio Santana agradeço pelo amor, suporte, companheirismo, incentivo, concessões e todo o amadurecimento que conquistamos individualmente e como um casal. Aos meus filhos Bianka Santana e Leonardo Santana, agradeço por toda compreensão, concessões, amor e paciência. Muito disso é por vocês e para vocês!

À minha amiga Karoline Panato, agradeço pela parceira acadêmica, pela amizade, apoio, pelos cafés, risadas e terapias. Agradeço imensamente a ela por tornar esse caminho percorrido menos árduo e mais divertido.

À minha psicóloga Flávia Dal Moro, agradeço o suporte nos momentos mais difíceis, quando pensei não ser capaz de superar as dores mais profundas. Você me fez ver um mundo mais colorido.

Aos colegas do laboratório de tecnologia de alimentos, Natália, Suliana, Natalye Marcelo agradeço pelo auxílio, parcerias, risadas e todos os bolos com sorvete regados a café. Aos demais colegas da pós graduação agradeço a convivência, trocas e ensinamentos.

Agradeço ao Sítio Recanto das Pitayas pela parceria e doações dessas belas frutas que permitiram o desenvolvimento desse lindo estudo.

Ao LAMEB e as técnicas Elis, Emily e Máisa, agradeço o incansável auxílio e suporte durante a realização dos ensaios de microscopia. Agradeço também ao POLIMAT pelos ensaios térmicos.

Agradeço ao Programa de Pós Graduação em Ciência de Alimentos por todo auxílio, aos professores por todos os ensinamentos compartilhados e ao secretário Sérgio por todo o suporte administrativo.

Agradeço a CAPES pelo auxílio financeiro e à Universidade Federal de Santa Catarina por toda estrutura e todas as oportunidades a mim concedidas, pois sem estas instituições nada disso teria sido possível.

Nunca se viu tamanha necessidade de o mundo  
acreditar na ciência e, esta, não nos falhou.  
(SANTANA, Fabiani, 2022).



## RESUMO

Esta tese se encontra dividida nos seguintes capítulos: I) Capítulo 1 – **Resíduos alimentares e pitaya: uma breve abordagem**. Este capítulo faz uma abordagem sobre a importância e as potencialidades do aproveitamento dos resíduos alimentares, dentro da perspectiva da Economia Circular, levando em consideração o crescimento populacional, o desperdício de alimentos e os impactos ambientais e sua relação com segurança alimentar. Este capítulo também apresenta uma revisão das características, composição e produção das pitayas e aborda a importância social do seu cultivo na cidade de Turvo. Finalmente discute o crescente interesse por produtos elaborados a partir dessa fruta e a potencial geração de resíduos por meio do descarte das sementes provenientes deste processamento. II) Capítulo 2 - **Sementes de pitaya *Hylocereus undatus*: estado da arte**. Esta revisão traz um panorama do conhecimento, até o presente momento, sobre as características, composição e as potencialidades funcionais das sementes de pitaya, com enfoque especial na espécie *Hylocereus undatus*. III) Capítulo 3 - **Efeitos dos métodos de separação na cinética de secagem de sementes de pitaya orgânica (*Hylocereus undatus* [Haw.] Britton & Rose)**. Este capítulo aborda os estudos realizados com a aplicação dos métodos ácido, térmico e enzimático, objetivando a separação entre semente e polpa, utilizando também, ensaios de microscopia para auxiliar na avaliação. A cinética de secagem foi avaliada e os valores experimentais foram ajustados aos modelos matemáticos e a determinação do coeficiente efetivo de difusão das sementes, para cada método de separação, foi realizada. Os resultados indicaram que todos os tratamentos promoveram a separação polpa-semente e influenciaram na taxa de secagem. Contudo, a separação enzimática foi o método mais eficiente para remover a capsula mucilaginosa do entorno das sementes causando a redução significativa da umidade inicial, com consequente diminuição no tempo de secagem, no período de taxa constante, no coeficiente de difusão e na umidade final das sementes. Além disso, o período de taxa constante foi responsável por controlar a cinética de secagem e o modelo de Page foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais. IV) Capítulo 4 - **Propriedades tecnológicas, propriedades térmicas e isotermas de adsorção de umidade de sementes de pitaya orgânica (*Hylocereus undatus* [Haw.] Britton & Rose)**. Neste capítulo, as sementes foram caracterizadas quanto a composição proximal e foram avaliadas as suas propriedades tecnológicas por meio da determinação da capacidade de retenção de água e óleo, índice de solubilidade e atividade emulsificante. Foram ainda, avaliadas as propriedades térmicas da semente integral, do tegumento e do endosperma, separadamente, por meio de análise termogravimétrica e calorimetria exploratória diferencial. As isotermas de adsorção de umidade, a 25°C, das sementes inteiras e moídas foram determinadas pelo método gravimétrico estático e realizada a modelagem matemática dos dados experimentais. As sementes apresentaram elevada concentração de proteínas (24,5 %), lipídeos (30 %) e fibra alimentar (36,8 %), com destaque para a fração de fibras insolúveis (31,1 %). As sementes foram capazes de reter 153 % e 89 % da sua massa em água e em óleo, respectivamente. A termogravimetria evidenciou três picos de perda de massa, com início do processo de degradação a 200 °C. Foram identificadas transições de primeira ordem na semente integral e suas partes nas temperaturas entre – 42 °C a 205 °C e uma transição vítrea a -1 °C. As isotermas indicaram características higroscópicas das sementes, cujo valor da umidade na monocamada foi de 3,4 e 3,2 gH<sub>2</sub>O.100 gss<sup>-1</sup> para sementes em pó e sementes inteiras, respectivamente, sendo o modelo de GAB o mais adequado para descrever as isotermas de ambas as amostras. V) Capítulo 5 - **Caracterização morfológica por microscopia de luz e ensaios de**

**extração em sementes de pitaya orgânica *Hylocereus undatus* [(Haw.) Britton & Rose]: estudos preliminares.** Neste capítulo foram realizados ensaios preliminares de caracterização morfológica das sementes de pitaya por microscopia óptica, por meio da aplicação de diversos protocolos de preparo histológico com a finalidade de obter cortes que permitissem a observação das estruturas, além de estudos preliminares de extração por meio da técnica de Soxhlet, aplicando-se solventes de diferentes polaridades (hexano, etanol, etanol:água e água). O criostato mostrou-se uma técnica importante para definir a localização de compostos lipídicos no tecido celular. Os protocolos com parafina proporcionaram cortes histológicos de melhor qualidade quando comparado à historesina, permitindo a identificação e localização de diversos constituintes da semente como os cotilédones, cutícula, meristema apical da raiz, procâmbio, rafe, meristema apical caulinar, tegumento e embrião. A extração resultou em rendimentos de 10,6 % a 39 %, sendo o etanol:água e o hexano, solventes de polaridade intermediária e apolar, respectivamente, que apresentaram maiores rendimentos de extração para essas sementes. Os resultados deste estudo demonstraram que, embora as sementes de pitaya sejam um resíduo do processamento da fruta, podem ser um potencial ingrediente para a indústria de alimentos. Além da agregação de valor a um subproduto, o uso deste tipo de material promove impactos positivos no desenvolvimento social, contribuindo com a prosperidade de famílias produtoras, cuja produção advém da agricultura familiar. Além disso, vem ao encontro dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, contribuindo com a sustentabilidade por meio do incentivo à produção orgânica e da redução de resíduos agro-industriais, buscando fechar o ciclo de processamento da fruta, na perspectiva da Economia Circular. Por fim, o processo empregado nas separações das sementes, por meio da hidrólise enzimática, constitui uma tecnologia que permite facilmente a ampliação de escala (processos enzimáticos são amplamente utilizados na indústrias de processamento de frutas) além ser uma tecnologia limpa e sustentável.

**Palavras-chave:** *Dragon fruit*. Economia Circular. Secagem convectiva. Propriedades tecnológicas. Hidrólise enzimática.

## ABSTRACT

This thesis is divided into the following chapters: I) Chapter 1 – **Food waste and pitaya: a brief approach**. This chapter approaches the importance and potential of using food waste within the perspective of the Circular Economy, taking into population growth, food waste and environmental impacts and their relationship with food security. This chapter also presents a review of the characteristics, composition, and production of pitayas and addresses the social importance of their cultivation in the city of Turvo. Finally, it discusses the growing interest in products made from this fruit and the potential generation of waste through the disposal of seeds from this processing. II) Chapter 2 - ***Hylocereus undatus* pitaya seeds: state of the art**. This review presents an overview of the knowledge to date on the characteristics, composition, and functional potential of pitaya seeds, with a special focus on the species *Hylocereus undatus*. III) Chapter 3 - **Effects of separation methods on drying kinetics of organic pitaya (*Hylocereus undatus* [Haw.] Britton & Rose) seeds**. This chapter carried out studies applying acid, thermal and enzymatic methods, aiming at the separation between seed and pulp, also used microscopy tests to aid in the evaluation. It also evaluated the drying kinetics, and mathematical modeling and determination of the effective seed diffusion coefficient for each separation method, was performed. The results indicated that all treatments promoted pulp-seed separation and influenced the drying rate. However, the enzymatic separation was the most efficient method to remove the mucilaginous capsule from the surroundings of the seeds, which caused a significant reduction in the initial moisture, with a consequent decrease in the drying time, in the constant rate period, in the diffusion coefficient and the moisture content end of the seed. In addition, the constant rate period was responsible for controlling the drying kinetics, and the Page model was the best fit for the experimental data. IV) Chapter 4 - **Technological properties, thermal properties, and moisture adsorption isotherms of organic pitaya seeds (*Hylocereus undatus* [Haw.] Britton & Rose)**. In this chapter, the seeds were characterized when the proximal composition and their technological properties were evaluated through the determination of the water and oil retention capacity, solubility index, and emulsifying activity. The thermal properties of the whole seed, tegument, and endosperm were also evaluated separately through thermogravimetric analysis and differential exploratory calorimetry. The moisture adsorption isotherms, at 25°C, of whole and ground seeds, were determined by the static gravimetric method, and mathematical modeling of the experimental data was performed. The seeds showed a high concentration of proteins (24.5%), lipids (30%), and dietary fiber (36.8%), with emphasis on the fraction of insoluble fiber (31.1%). The seeds were able to retain 153% and 89% of their weight in water and oil, respectively. Thermogravimetry showed three mass loss peaks, with the beginning of the degradation process at 200 °C. First-order transitions were identified in the whole seed and its parts at temperatures between -42 °C to 205 °C and a glass transition at -1 °C. The isotherms indicated hygroscopic characteristics of the seeds, whose moisture value in the monolayer was 3.4 and 3.2 gH<sub>2</sub>O.100 gss<sup>-1</sup> for powdered seeds and whole seeds, respectively, being the GAB model the most adequate to describe the isotherms of both samples. V) Chapter 5 - **Morphological characterization by light microscopy and solvent extraction tests on seeds of organic pitaya *Hylocereus undatus* [(Haw.) Britton & Rose]: preliminary studies**. In this chapter, preliminary tests of morphological characterization of pitaya seeds were carried out by optical microscopy, through the application of several histological preparation protocols to obtain sections that allowed the observation of structures, in addition to preliminary studies of extraction using the technique Soxhlet

method, applying solvents of different polarities (hexane, ethanol, ethanol: water and water). The cryostat proved to be an important technique for the localization of lipid compounds in cellular tissue. The protocols with paraffin provided histological sections of better quality when compared to historesin, allowing the identification and location of several constituents such as cotyledons, cuticle, root apical meristem, procambium, raphe, stem apical meristem, integument and embryo. The extraction resulted in yields from 10.6 % to 39 %, with ethanol: water, and hexane, solvents of intermediate and nonpolar polarity, respectively, which presented the highest extraction yields for these seeds. The results of this study demonstrated that, although pitaya seeds are a residue from fruit processing, they can be a potential ingredient for the food industry. In addition to adding value to a by-product, the use of this type of material promotes positive impacts on social development, contributing to the prosperity of producing families, whose production comes from family farming. In addition, it meets the Sustainable Development Goals, contributing to sustainability by encouraging organic production and reducing agro-industrial waste, seeking to close the fruit processing cycle, from the perspective of the Circular Economy. Finally, the process used in seed separation, through enzymatic hydrolysis, is a technology that easily allows for scale expansion (enzymatic processes are widely used in the fruit processing industries) in addition to being clean and sustainable technology.

**Keywords:** Circular Economy. Convective drying. Technological properties. Enzymatic hydrolysis.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

Figura 1 - Produtos processados a base de pitaya: 1) produtos nacionais, 2) produtos desidratados e de cor e 3) produtos de beleza e para suplementação.....	42
Figura 2 - <i>Hylocereus undatus</i> : flor, cacto e fruto.....	49
Figura 3 - Ilustração da planta de pitaya e partes do fruto.....	49
Figura 4 – Localização do Sítio Recanto das Pitayas.....	52
Figura 5 – Imagens do Sítio Recanto das Pitayas em Turvo – SC.....	53
Figura 6 – Uso de palanque no sistema de plantio de pitaya orgânica pelo Sítio Recanto das Pitayas.....	54
Figura 7 – Produtos produzidos sazonalmente pelo Sítio Recanto das pitayas com a fruta pitaya.....	55

### CAPÍTULO 2

Figura 1 - Ilustração das partes da semente de feijão.....	66
Figura 2 - Semente de pitaya <i>H. undatus</i> .....	67
Figura 3 – Sementes de pitaya orgânica ( <i>H. undatus</i> ) em processo de germinação após seis dias, mantidas em ambiente de elevada umidade.....	69
Figura 4 – Artigos publicados nas bases de dados <i>WOS</i> e <i>Scopus</i> utilizando os descritores [pitaya (...)], AND seed.....	71

### CAPÍTULO 3

Figura 1 – Imagens das polpas e sementes de pitaya antes (A) e após (B e C) os processos de separação térmica (TS), ácida (AS) e enzimática (ES).....	99
Figura 2 – Microscopia óptica das sementes de pitaya com magnificação de 10x (A- semente úmida) e 20x (B- semente desidratada) após processo de separação térmico, ácido e enzimático.....	102
Figura 3 – Curvas da cinética de secagem a 45 °C das sementes de pitaya orgânica ( <i>H. undatus</i> ) após separação térmica (TS), ácida (AS) e enzimática (ES).....	104
Figura 4 – Taxas médias de secagem das sementes de pitaya orgânica ( <i>H. undatus</i> ) após separação térmica (TS), ácida (AS) e enzimática (ES).....	104
Figura 5 – Gráficos do ajuste linear da cinética de secagem no período de taxa constante a 45 °C, das sementes de pitaya orgânica ( <i>H. undatus</i> ) obtidos nos tratamentos TS, AS e ES.....	107
Figura 6 - Ajuste do modelo Semiempírico de Page aos dados experimentais dos ensaios de cinética de secagem a 45°C das sementes de pitaya orgânica ( <i>H. undatus</i> ) TS, AS e ES.....	110
Figura 7 – Gráficos dos resíduos dos ajustes dos modelos Semiempíricos de HP, Lewis e Page para as curvas de cinética de secagem das sementes de pitaya orgânica por separação enzimática (ES).....	111
Figura 8 – Curvas das cinéticas de secagem a 45 °C das sementes de pitaya orgânica ( <i>H. undatus</i> ) após separações enzimáticas ES, ES2 e ES3.....	115

Figura 9 - Gráficos do ajuste linear das taxas no período constante das cinéticas de secagem a 45 °C das sementes de pitaya orgânica ( <i>H. undatus</i> ) por separação enzimática (ES, ES2 e ES3).....	115
--	-----

#### **CAPÍTULO 4**

Figura 1 – Curvas termogravimétricas TGA-DTG das sementes de pitaya orgânica ( <i>H. undatus</i> ).....	138
Figura 2 – Termogramas das análises em DSC das sementes de pitaya orgânica ( <i>H. undatus</i> ) integral (S1), tegumento (C1) e endosperma (E1).....	142
Figura 3 – Gráficos das isotermas de adsorção a 25 °C, das sementes de pitaya orgânica em pó ( <i>H. undatus</i> ) com os ajustes de teor de umidade de equilíbrio em função da atividade de água dos modelos de Gabi, Oswin, Peleg, Smith e BET linearizado e BET.....	150
Figura 4 – Gráficos das isotermas de adsorção a 25 °C, das sementes de pitaya orgânica inteiras ( <i>H. undatus</i> ) com os ajustes de teor de umidade de equilíbrio em função da atividade de água dos modelos de Gabi, Oswin, Peleg, Smith e BET linearizado e BET.....	151
Figure 5 – Gráficos da tendência da distribuição dos resíduos para os modelos de Gabi, Oswin, Peleg, Smith e BET e BET linearizado em função dos valores preditos da isoterma de adsorção de umidade de sementes de pitaya orgânica em pó ( <i>H. undatus</i> ).....	155
Figure 6 – Gráficos da tendência da distribuição dos resíduos para os modelos de Gabi, Oswin, Peleg, Smith e BET e BET linearizado em função dos valores preditos da isoterma de adsorção de umidade de sementes de pitaya orgânica inteira ( <i>H. undatus</i> ).....	156

#### **CAPÍTULO 5**

Figura 1 – Representação dos cortes histológicos aplicados às sementes de pitaya <i>H. undatus</i> para os ensaios em microscopia de luz.....	174
Figura 2 – Fluxograma do protocolo experimental para corte histológico em criostato.....	175
Figura 3 – Blocos de polpa/semente de pitaya em processo de corte por criostato.....	176
Figura 4 – Fluxograma do protocolo experimental para corte histológico em parafina	178
Figura 5 - Etapas do protocolo de parafina aplicadas às sementes de pitaya <i>H. undatus</i> .....	179
Figura 6– Fluxograma do protocolo experimental para corte histológico em historesina.....	181
Figura 7 – Etapas do protocolo de historesina aplicadas às sementes de pitaya <i>H. undatus</i> .....	182
Figura 8 – Aparato experimental do método de extração convencional por Soxhlet aplicado às sementes de pitaya <i>H. undatus</i> .....	185
Figura 9 – Fluxograma do preparo da amostra e obtenção dos extratos de semente de pitaya <i>H. undatus</i> .....	186

Figura 10 – Microscopia de semente de pitaya <i>H. undatus</i> após aplicação da técnica de criostato com uso do protocolo II.....	189
Figura 11 – Microscopia de sementes de pitaya <i>H. undatus</i> após aplicação da técnica de criostato com uso do protocolo III.....	190
Figura 12 – Tegumento da semente de pitaya <i>H. undatus</i> preservado durante o corte em criostato (protocolo III).....	191
Figura 13 – Microscopia do ensaio histoquímico para lipídeos em sementes de pitaya <i>H. undatus</i> por criostato.....	194
Figura 14 – Microscopias de sementes de pitaya <i>H. undatus</i> emblocadas em historesina e sem preservação dos tecidos.....	196
Figura 15 – Microscopias de sementes de pitaya <i>H. undatus</i> emblocadas em parafina com protocolo II.....	198
Figura 16 – Microscopias de sementes de pitaya <i>H. undatus</i> emblocadas em parafina com protocolo III (K, L, M e N) e imagem de corte histológico em micrótomo (O).....	199
Figura 17 – Microscopias de sementes de pitaya <i>H. undatus</i> emblocadas em parafina com protocolo II com cortes histológicos mais preservados.....	201
Figura 18 – Microscopia de cortes histológicos de semente de pitaya <i>H. undatus</i> em parafina, por aplicação do protocolo III.....	202
Figura 19 – Extratos de semente de pitaya orgânica <i>H. undatus</i> obtida por processo de extração por Soxhlet aplicando os solventes: água, etanol, etanol:água e hexano.....	209

## APÊNDICE CAPÍTULO 1

Figura 1 – Números de publicações do Brasil de acordo com o ranking SCImago de 2011 a 2017 (A) e dispêndio do Brasil em ciência e tecnologia (C&T), atividade de 2000 a 2016 (B).....	227
Figura 2 – Número de publicações científicas da UFSC no período de 2013 a 2016, separadas de acordo com o campo de conhecimento.....	230
Figura 3 – Fomento à pesquisa e bolsas de mestrado e doutorado pela CNPq (A) e CAPES (B).....	231
Figura 4 – Número de artigos científicos sobre pitaya (1945-2019) encontrados nas bases de dados WOS e Scopus, e trabalhos presentes nas Bases de dados de teses e dissertações da CAPES, BDTD e Repositório da UFSC.....	232
Figura 5 – Artigos publicados sobre pitaya disponíveis nos bancos de dados WOS e Scopus no período de 1995 a 2019.....	233
Figura 6 - Áreas de conhecimento com o maior número de publicações sobre pitaya de acordo com WOS e Scopus nos períodos de 1945 a 2019 (A1, A2) e dos últimos 5 anos (B1, B2).....	234
Figura 7 - Países e universidades com publicação sobre pitaya (1945-2019) e países que mais publicaram nos últimos 5 anos.....	236
Figura 8 – Trabalhos acadêmicos produzidos no Brasil com o tema pitaya até o ano de 2019 de acordo com os bancos de dados da CAPES e BDTD.....	238
Figura 9 – Artigos publicados nas bases de dados WOS e Scopus utilizando os descritores [pitaya (...)], AND seed.....	240

### **APÊNDICE CAPÍTULO 3**

APÊNDICE A – Etapas do preparo das amostras de pitaya <i>H. undatus</i> para posteriores estudos com a semente.....	251
APÊNDICE B - Ajuste do modelo Semiempírico de Henderson & Pabis aos dados experimentais dos ensaios de cinética de secagem a 45°C das sementes de pitaya orgânica ( <i>H. undatus</i> ) TS, AS e ES.....	252
APÊNDICE C - Ajuste do modelo Semiempírico de Lewis aos dados experimentais dos ensaios de cinética de secagem a 45°C das sementes de pitaya orgânica ( <i>H. undatus</i> ) TS, AS e ES.....	253
APÊNDICE D – Gráficos dos resíduos dos ajustes dos modelos de HP, Lewis e Page das cinéticas de secagem das sementes de pitaya orgânica ( <i>H. undatus</i> ) por separação AS e TS.....	254

### **ANEXO CAPÍTULO 3**

ANEXO A – Capa do artigo publicado na revista Food Science and Technology referente a este capítulo da tese.....	258
ANEXO B – Trabalho apresentado no CBCTA 2018 referente ao conteúdo deste capítulo da tese.....	259
ANEXO C – Trabalho completo apresentado no III CTACTA 2020 referente ao conteúdo deste capítulo da tese.....	260
ANEXO D – Prêmio categoria Melhores Trabalhos no III CTACTA 2020 referente ao conteúdo deste capítulo da tese.....	261

### **ANEXO CAPÍTULO 4**

ANEXO A – Certificado de trabalho científico apresentado no I Congresso Euroamericano de Procesos y Productos Alimentarios (I CEAPA), como parte do capítulo 4 desta tese.....	262
ANEXO B – Certificado de Menção honrosa para o trabalho que foi classificado entre os 10 melhores trabalhos apresentados no I Congresso Euroamericano de Procesos y Productos Alimentarios (I CEAPA).....	263



## LISTA DE QUADROS

### APÊNDICE CAPÍTULO 1

Quadro 1 – Descritores e estratégia de busca para a prospecção científica sobre a semente de pitaya ( <i>Hylocereus undatus</i> ).....	225
Quadro 2 – Descritores e estratégia de busca para prospecção científica sobre sementes de maracujá, goiaba, mamão, jaboticaba, mangaba, araçá, chia, linhaça e gergelim na base de dados Scopus.....	226

### APÊNDICE CAPÍTULO 5

APÊNDICE A – Protocolos de preparado de amostra para corte histológico em criostato para caracterização morfológica de sementes de pitaya por microscopia óptica.....	255
APÊNDICE B - Protocolos de preparado de amostra para corte histológico em parafina para caracterização morfológica de sementes de pitaya por microscopia óptica.....	256

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

Tabela 1 - Número de estabelecimentos agropecuários de lavoura permanente de cultivo de pitaya no Brasil no ano de 2017.....	46
Tabela 2 - Número de pés de pitaya existentes nos estabelecimentos agropecuários de lavoura permanente de pitaya no Brasil.....	47
Tabela 3 - Classificação taxonômica da pitaya <i>H. undatus</i> .....	48
Tabela 4 - Composição nutricional da polpa da pitaya <i>Hylocereus undatus</i> .....	50

### CAPÍTULO 2

Tabela 1 - Composição proximal das sementes de pitaya <i>H. undatus</i> .....	72
Tabela 2 - Perfil de ácidos graxos em sementes de pitaya <i>H. undatus</i> (g/100g b.s).....	74
Tabela 3 - Fitoquímicos presentes nas sementes de pitaya <i>Hylocereus undatus</i> .....	77

### CAPÍTULO 3

Tabela 1 - Modelos matemáticos Semiempíricos aplicados ao ajuste dos dados experimentais da secagem convectiva das sementes de pitaya orgânica a 45°C.....	94
Tabela 2 - Valores de pH, °Brix e umidade para polpa de pitaya fresca, polpa da pitaya após os tratamentos AS, TS e ES e das sementes AS, TS e ES obtidas após separação.....	98
Tabela 3 – Parâmetros do ajuste dos modelos Semiempíricos aplicados aos dados experimentais das cinéticas de secagem das sementes de pitaya orgânica ( <i>H. undatus</i> ) TS, AS e ES com os respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e a análise dos resíduos (RMSE e $x^2$ ).....	112
Tabela 4 – Equações de cinética de secagem do ajuste de Page para as sementes de pitaya orgânica ( <i>H. undatus</i> ).....	112

### CAPÍTULO 4

Tabela 1 – Soluções saturadas de sais e suas respectivas umidades relativas a 25°C.....	133
Tabela 2 – Modelos para ajuste das isotermas de adsorção de umidade das sementes de pitaya orgânica ( <i>H. undatus</i> ).....	134
Tabela 3 – Composição proximal das sementes de pitaya orgânica ( <i>H. undatus</i> ).....	136
Tabela 4 – Temperaturas de degradação das curvas termogravimétricas (TGA/DTG) das sementes de pitaya orgânica <i>H. undatus</i> .....	139
Tabela 5 – Temperaturas de transição dos ensaios de DSC das sementes de pitaya orgânica ( <i>H. undatus</i> ) integral (S1), tegumento (C1) e endosperma (E1).....	143
Tabela 6 – Média do teor de umidade de equilíbrio ( $X_e$ ) e relação da absorção de água para as sementes de pitaya orgânicas inteiras e sementes de pitaya orgânicas em pó ( <i>H. undatus</i> ).....	152
Tabela 7 – Parâmetros preditos dos modelos ajustados aos dados experimentais para isoterma de adsorção de umidade de sementes pitaya orgânica em pó e sementes pitaya orgânica inteiras ( <i>H. undatus</i> ).....	153

## **CAPÍTULO 5**

Tabela 1 – Características das peneiras granulométricas Tyler.....	184
Tabela 2 – Massa retida nas peneiras Mesh -16/+42 e diâmetro médio da partícula das sementes de pitaya orgânica em pó ( <i>H. undatus</i> ).....	204
Tabela 3 – Rendimento global dos extratos de sementes de pitaya orgânica em pó ( <i>H. undatus</i> ) por Soxhlet.....	206

## **APÊNDICE CAPÍTULO 1**

Tabela 1 – Artigos publicados sobre sementes de frutas comuns, frutas e exóticas e sementes pequenas na base de dados Scopus no período de 1945-2019.....	243
---	-----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AS .....	Separação ácida
AE .....	Atividade emulsificante
$a_w$ .....	Atividade de água
AGA .....	Extrato com água
b.s. ....	Base seca
°Brix .....	Teor de sólidos totais em grau Brix
b.u. ....	Base úmida
BOD .....	<i>Biochemical Oxygen Demand</i>
ba .....	Bainha protetora do cotilédone
BET .....	Bruanuer, Emmett e Teller
CRA .....	Capacidade de retenção de água
CRO .....	Capacidade de retenção de óleo
CE .....	Capacidade emulsificante
C1 .....	Tegumento
cl .....	Cotilédone
ca .....	Cutícula do tegumento interior
$D_{eff}$ .....	Coefficiente de difusão efetivo
DTG .....	Termogravimetria Derivada
DSC .....	Calorimetria exploratória diferencial
$d_s$ .....	Diâmetro médio das partículas
ES .....	Separação enzimática
ES <sub>2</sub> .....	Separação enzimática (sem filtragem, com tampão)
ES <sub>3</sub> .....	Separação enzimática (sem filtragem e sem tampão)
E1 .....	Endosperma
ETA .....	Extrato com etanol:água
ETO .....	Extrato com etanol
em .....	Embrião
FAO .....	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura
ga.gss <sup>-1</sup> .....	Gramas de água por grama de sólido seco
ga.gss <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> ....	Gramas de água por grama de sólido seco por minuto
g.100gss <sup>-1</sup> .....	Gramas de analito por cem gramas de sólido seco
gH <sub>2</sub> O.100gss <sup>-1</sup> ..	Gramas de água por cem gramas de sólido seco
gH <sub>2</sub> O.gss <sup>-1</sup> .....	Gramas de água por grama de sólido seco
gss.gH <sub>2</sub> O <sup>-1</sup> .....	Gramas de sólido seco por grama de água
gO.gss <sup>-1</sup> .....	Gramas de óleo por grama de sólido seco
gl .....	Gotículas lipídicas
GAB .....	Guggenheim, Anderson e Boer

<i>H. undatus</i> .....	<i>Hylocereus undatus</i>
HP .....	Henderson & Pabis
HEX .....	Extrato com hexano
IBGE .....	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MRE .....	Erro Médio Relativo
ma .....	Meristema apical caulinar
ONU .....	Organizações das Nações Unidas
ODS .....	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PBS .....	<i>Phosphate-buffered saline</i>
pc .....	Parede celular
pr .....	Prócambio
RU .....	Razão de umidade
RMSE .....	Desvio Quadrático Médio
RPM .....	Rotações por minuto
ra .....	Meristema apical da raiz
rf .....	Rafe
SDE .....	Desvio Padrão da Estimativa
SI .....	Índice de solubilidade
S1 .....	Semente integral
TS .....	Separação térmica
T <sub>g</sub> .....	Transição vítrea
T <sub>o</sub> .....	Temperatura inicial
T <sub>p</sub> .....	Pico máximo de temperatura
T <sub>c</sub> .....	Temperatura final
TGA .....	Análise Termogravimétrica
tg .....	Tegumento
UR .....	Umidade relativa
U <sub>bs</sub> .....	Umidade em base seca
X <sub>e</sub> .....	Umidade de equilíbrio
χ <sup>2</sup> .....	Qui-Quadrado Reduzido
X <sub>m</sub> .....	Umidade na monocamada
X <sub>0</sub> .....	Rendimento global de extração

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	26
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	29
<b>2.OBJETIVOS</b> .....	32
2.1 OBJETIVO GERAL.....	32
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	32
<b>CAPÍTULO 1. Resíduos alimentares e pitaya: uma breve abordagem</b> .....	33
<b>RESUMO</b> .....	34
<b>ABSTRACT</b> .....	35
<b>1. RESÍDUOS ALIMENTARES</b> .....	36
<b>2. PITAYA</b> .....	43
2.1 PITAYA: <i>HYLOCEREUS UNDATUS</i> .....	47
2.3 SÍTIO RECANTO DAS PITAYAS .....	51
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	57
<b>CAPÍTULO 2. Sementes de pitaya <i>Hylocereus undatus</i>: estado da arte</b> .....	62
<b>RESUMO</b> .....	63
<b>ABSTRACT</b> .....	64
<b>1. SEMENTES</b> .....	65
<b>2. SEMENTES DE PITAYA <i>HYLOCEREUS UNDATUS</i></b> .....	67
<b>3. SEMENTES DE PITAYA <i>HYLOCEREUS UNDATUS</i>: O ESTADO DA ARTE</b> .....	70
3.1 COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA .....	72
3.2 PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS .....	73
3.3 COMPOSTOS BIOATIVOS.....	75
3.4 OUTROS CAMPOS DE ESTUDO.....	78
<b>4. CONCLUSÃO</b> .....	81
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	82
<b>CAPÍTULO 3. Efeitos dos métodos de separação na cinética de secagem de sementes de pitaya orgânica (<i>Hylocereus undatus</i> [Haw.] Britton &amp; Rose)</b> .....	85
<b>RESUMO</b> .....	86
<b>ABSTRACT</b> .....	87
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	88
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	91
2.1. MATERIAL .....	91
2.2. AMOSTRAS .....	91
2.3 PROCESSO DE SEPARAÇÃO DAS SEMENTES .....	91

<b>2.3.1 Separação térmica</b> .....	<b>91</b>
<b>2.3.2 Separação ácida</b> .....	<b>92</b>
<b>2.3.3 Separação enzimática</b> .....	<b>92</b>
2.4 TEOR DE SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS (°Brix) .....	93
2.5 TEOR DE UMIDADE .....	93
2.6 CINÉTICA DE SECAGEM .....	93
<b>2.6.1 Modelagem com modelos Semiempíricos</b> .....	<b>94</b>
2.7 COEFICIENTE DE DIFUSÃO EFETIVO .....	94
2.8 MICROSCOPIA ÓPTICA .....	96
2.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	96
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>98</b>
3.1. SEPARAÇÃO ÁCIDA, TÉRMICA E ENZIMÁTICA .....	98
3.2. CINÉTICA DE SECAGEM, MODELAGEM SEMIEMPÍRICA E COEFICIENTE DE DIFUSÃO EFETIVO .....	103
3.3 SEPARAÇÃO ENZIMÁTICA (ES, ES <sub>2</sub> e ES <sub>3</sub> ) .....	113
<b>4. CONCLUSÃO</b> .....	<b>117</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>118</b>

<b>CAPÍTULO 4. Propriedades tecnológicas, propriedades térmicas e isotermas de adsorção de umidade de sementes de pitaya orgânica (<i>Hylocereus undatus</i> [Haw.] Britton &amp; Rose)</b> .....	<b>123</b>
---	------------

<b>RESUMO</b> .....	<b>124</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>125</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>126</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>129</b>
2.1 MATERIAL .....	129
2.2. AMOSTRA .....	129
<b>2.2.1 Preparo das amostras</b> .....	<b>129</b>
2.3. COMPOSIÇÃO PROXIMAL .....	130
<b>2.4 ANÁLISES TÉRMICAS</b> .....	<b>130</b>
2.5 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS .....	131
<b>2.5.1 Capacidade de retenção de água e índice de solubilidade</b> .....	<b>131</b>
<b>2.5.2 Capacidade de retenção de óleo</b> .....	<b>132</b>
<b>2.5.3 Atividade emulsificante</b> .....	<b>132</b>
2.5 ISOTERMA DE ADSORÇÃO DE UMIDADE .....	132
2.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	134
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>136</b>
3.1 COMPOSIÇÃO PROXIMAL .....	136
3.2 ANÁLISES TÉRMICAS .....	137
3.3 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS .....	146

<b>4. CONCLUSÃO.....</b>	<b>157</b>
<b>REFERÊNCIA.....</b>	<b>158</b>
<b>CAPÍTULO 5. Caracterização morfológica por microscopia de luz e ensaios de extração de sementes de pitaya orgânica <i>Hylocereus undatus</i> [(Haw.) Britton &amp; Rose]: estudos preliminares.....</b>	<b>165</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>166</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>167</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>168</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>172</b>
2.1. MISCROSCOPIA ÓPTICA .....	172
2.1.2 Amostras.....	172
2.1.3 Materiais.....	172
2.1.4 Protocolos para preparo de amostra e corte histológico.....	173
2.1.4.1 Protocolo para corte em criostato e histoquímica de lipídeos totais.....	172
2.1.4.2 Protocolo para Parafina.....	175
2.1.4.3 Protocolo para Historesina.....	178
2.2 EXTRAÇÃO COM SOLVENTE.....	182
2.2.1 Preparo das amostras.....	182
2.2.2 Determinação do diâmetro médio de partícula .....	183
2.2.3 Extração com solvente por Soxhlet.....	184
2.2.4 Rendimento global da extração.....	186
2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	187
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>188</b>
3.1. MICROSCOPIA.....	188
3.2 EXTRAÇÃO COM SOLVENTE.....	204
3.2.1 Tamanho das partículas.....	204
3.2.2 Rendimento global da extração.....	206
<b>4. CONSIDERAÇÕES .....</b>	<b>210</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>212</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>218</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>220</b>
<b>APÊNDICE CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>221</b>
APÊNDICE A – PRODUÇÃO CIENTÍFICA E O ESTUDO DA ARTE DAS SEMENTES DE PITAYA ORGÂNICA ( <i>Hylocereus undatus</i> ) de 1945 a 2019 .....	221
REFERÊNCIAS .....	245
<b>APÊNDICE CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>251</b>



APÊNDICE A – Etapas do preparo das amostras de pitaya <i>H. undatus</i> para posteriores estudos com a semente .....	251
APÊNDICE B - Ajuste do modelo Semiempírico de Henderson & Pabis aos dados experimentais dos ensaios de cinética de secagem a 45°C das sementes de pitaya orgânica ( <i>H. undatus</i> ) TS, AS e ES .....	252
APÊNDICE C - Ajuste do modelo Semiempírico de Lewis aos dados experimentais dos ensaios de cinética de secagem a 45°C das sementes de pitaya orgânica ( <i>H. undatus</i> ) TS, AS e ES .....	253
APÊNDICE D – Gráficos dos resíduos dos ajustes dos modelos de HP, Lewis e Page das cinéticas de secagem das sementes de pitaya orgânica ( <i>H. undatus</i> ) por separação AS e TS.....	254
<b>APÊNDICE CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>255</b>
APÊNDICE A – Protocolos de preparado de amostra para corte histológico em criostato para caracterização morfológica de sementes de pitaya por microscopia óptica .....	255
PÊNDICE B - Protocolos de preparado de amostra para corte histológico em parafina para caracterização morfológica de sementes de pitaya por microscopia óptica .....	256
<b>ANEXO.....</b>	<b>257</b>
<b>ANEXO CAPÍTULO 3.....</b>	<b>258</b>
ANEXO A – Capa do artigo publicado na revista <i>Food Science and Technology</i> referente a este capítulo da tese .....	258
ANEXO B – Trabalho apresentado no CBCTA 2018 referente ao conteúdo deste capítulo da tese .....	259
ANEXO C – Trabalho completo apresentado no III CTACTA 2020 referente ao conteúdo deste capítulo da tese .....	260
ANEXO D – Prêmio categoria Melhores Trabalhos no III CTACTA 2020 referente ao conteúdo deste capítulo da tese .....	261
<b>ANEXO CAPÍTULO 4.....</b>	<b>262</b>
ANEXO A – Certificado de trabalho científico apresentado no I <i>Congreso Euroamericano de Procesos y Productos Alimentarios</i> (I CEAPA), como parte do capítulo 4 desta tese.....	262
ANEXO B – Certificado de Menção honrosa para o trabalho que foi classificado entre os 10 melhores trabalhos apresentados no I <i>Congreso Euroamericano de Procesos y Productos Alimentarios</i> (I CEAPA).....	263

## 1. INTRODUÇÃO

O crescente interesse por estudos com sementes tem sido impulsionado por questões ligadas à sustentabilidade e pela perspectiva de produtos de alto valor agregado nas cadeias agroprodutivas. Uma das razões é que sementes são frequentemente descartadas como resíduos agro-alimentares durante o processamento, gerando impactos econômicos e ambientais negativos. Somente na produção de suco de frutas e de polpas congeladas, por exemplo, a geração de resíduos constituídos por cascas e sementes, chega a representar 40 % do total de resíduos agroindustriais produzidos (NASCIMENTO FILHO; FRANCO, 2015). A geração de resíduos, somada ao desperdício de alimentos e ao crescente aumento da população, tem promovido impactos na segurança alimentar (FAO, 2009; 2011) fazendo com que os setores de produção e processamento de alimentos, enfrentem o desafio de reduzir a geração de resíduos alimentares. Uma estratégia adotada tem sido impulsionar estudos que promovam a valorização e emprego desses resíduos como subprodutos na produção de novos ingredientes (RIVERA; LAGUNES; VÁZQUEZ, 2019). Nessa perspectiva, as sementes vêm ganhando atenção de pesquisadores devido a sua composição nutricional e presença de compostos bioativos que, tornam esses resíduos, importantes matrizes para extração e obtenção de ingredientes de alto valor agregado (SAGAR *et al.*, 2018; TENORE; NOVELLINO; BASILE, 2012).

Dentre as sementes de frutas, se destacam as sementes de pitaya. A pitaya é uma fruta exótica pertencente à família das Cactáceas, conhecida como *dragon fruit* (TIEN *et al.*, 2022; SMALL, 2012), que tem despertado o interesse de consumidores e produtores, especialmente devido a suas propriedades bioativas, nutricionais e nutracêuticas, o que lhe confere o status de super fruta (ANGONESE *et al.*, 2021; HUA *et al.*, 2018; MIZRAHI, 2014).

Em Santa Catarina, a produção de pitaya vem ganhando destaque e, embora dados de produção nacional ainda sejam escassos, pesquisas recentes apontam o estado como um dos maiores pólos produtores sustentáveis desta fruta no Brasil (EPAGRI, 2021; GEAGESP, 2019; IBGE-SIDRA, 2017). Dentre as espécies de pitaya a *Hylocereus undatus* [(Haw.), Britton & Rose] é a mais cosmopolita, sendo a mais comercializada e consumida (LE BELLEC; VAILLANT, 2011; NUNES *et al.*, 2014; VERONA-RUIZ; URCIA-CERNA; PAUCAR-MENACHO, 2020). Além da importância econômica (EPAGRI, 2021), a produção de pitaya orgânica, especialmente

na cidade de Turvo no sul do estado de Santa Catarina, tem gerado impacto social importante para os pequenos produtores da região. Isso se deve à substituição da plantação de fumo, que constituía uma atividade agrícola importante nessa região, pelo cultivo de frutas orgânicas. Esse movimento foi realizado pela família Feltrin, produtora do Sítio Recanto das Pitayas, que tem hoje, a comercialização da pitaya orgânica como sua principal fonte de renda. Esses produtores fazem parte de um projeto de extensão vinculado a este grupo pesquisa e têm sido parceiros no desenvolvimento de estudos com pitaya, dentre os quais, este projeto de doutorado.

O interesse pela fruta de pitaya tem impulsionado o desenvolvimento de produtos alimentícios a partir dela. No Brasil, diversos produtos alimentares têm surgindo nas gôndolas dos supermercados nos últimos anos, como chás, sorvetes, sucos, geléias, bebidas alcoólicas, desidratados e outros. Como consequência, embora ainda não estejam disponíveis dados de processamento, ocorre a geração de resíduos agroindustriais, especialmente compostos por suas sementes, uma vez que elas não compõem tais produtos.

As sementes de pitaya correspondem a aproximadamente 5 % da massa total da polpa da fruta fresca (VILLALOBOS-GUTIÉRREZ *et al.*, 2012). Embora tenha havido um crescente interesse em pesquisas com pitaya, no Brasil os estudos sobre o aproveitamento dessas sementes, para fins alimentícios, ainda são escassos. A maioria dos estudos é focada em processos de germinação, morfologia e maturidade fisiológica dessas sementes (LONE, 2014; ORTIZ *et al.*, 2014, 2018; ORTIZ; MORITZ; TAKAHASHI, 2015; RUTHS, 2018). Mesmo escassos, alguns estudos com sementes de pitaya de espécies variadas têm destacado essas sementes como fonte promissora de nutrientes e fitoquímicos. No que se referem às características nutricionais, as sementes de pitaya apresentam teores de proteínas comparáveis às leguminosas, além de possuírem elevada concentração de ácidos graxos, sendo 75 % deles do tipo insaturados (ARIFFIN *et al.*, 2009; RUI *et al.*, 2009; VILLALOBOS-GUTIÉRREZ *et al.*, 2012). Ademais, em seus extratos destacam-se a presença de tocoferóis, flavonoides, esteróis e ácidos fenólicos, demonstrando atividades antioxidantes (CHEMAH *et al.*, 2010; LIAOTRAKOON *et al.*, 2013; LIM *et al.*, 2010; SAENJUM; PATTANANANDECHA; NAKAGAWA, 2021). Tais estudos têm sido realizados com frutas produzidas fora do Brasil, sendo que estudos com sementes nacionais, especialmente de frutas cultivadas no estado de Santa Catarina, ainda não são encontrados na literatura. Assim torna-se de

grande relevância o estudo para valorização dessas sementes, seja com intuito de amenizar possíveis impactos ambientais associados a seu descarte, ou ainda, para promover o desenvolvimento de produtos de maior valor agregado, incentivando os pequenos produtores da região e fortalecendo essas cadeias agroprodutivas.

## REFERÊNCIAS

ANGONESE, Mariana. **Potencial bioativo e tecnológico de polpas de pitaya (*Hylocereus spp.*) frescas e desidratadas**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Programa de Pós Graduação em Ciência dos Alimentos, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

ARIFFIN, A. A. *et al.* Essential fatty acids of pitaya (dragon fruit) seed oil. **Food Chemistry**, v. 114, p. 561–564, 2009.

BEWLEY, J. Derek *et al.* **Seeds: Physiology of development, germination and dormancy**, 3rd edition. Chapter 1: Structure and composition, p. 1-25. New York: Springer, 201.

CHEMAH, T. C. *et al.* Determination of pitaya seeds as a natural antioxidant and source of essential fatty acids. **International Food Research Journal**, v. 17, n. 4, p. 1003–1010, 2010.

EPAGRI. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Santa Catarina vira pólo de produção sustentável de pitaia**. EPAGRI, 2021. Disponível em: <https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/2021/06/18/santa-catarina-vira-polo-de-producao-sustentavel-de-pitaia/>. Acesso em: 12 dez. 2021.

FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. **The State of Food Security and Nutrition in the World 2021. Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all**. Rome, FAO. 2021. <https://doi.org/10.4060/cb4474en>

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nation. **How to feed the world in 2050**. High level expert forum. Convened at FAO Headquarters in Rome on 12-13 October. 2009. Disponível em: [http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert\\_paper/How\\_to\\_Feed\\_the\\_World\\_in\\_2050.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf). Acesso em: 26 de jul. 2021.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nation. **Global food losses and food waste: Extent, causes and prevention**. Rome, 2011. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i2697e.pdf>. Acesso em: 15 de mar. 2019.

GEAGESP. Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo. **Guia Geagesp: Pitaia**. Companhia de entrepostos e armazéns gerais de São Paulo, 2019. Disponível em: <http://www.ceagesp.gov.br/guia-ceagesp/pitaia/> Acesso em: 03 de fev 2019.

HUA, Q. *et al.* Plant Physiology and Biochemistry Metabolomic characterization of pitaya fruit from three red-skinned cultivars with different pulp colors. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 126, n. September 2017, p. 117–125, 2018.

IBGE-SIDRA. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Senso agropecuário 2017**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6956>. Acesso em: 14 dez. 2021.

LE BELLEC, F.; VAILLANT, F. Pitahaya (pitaya) (*Hylocereus* spp.). In: YAHIA, Elhadi M. **Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits: Volume 4 :Mangosteen to white sapote**. Woodhead Publishing, Philadelphia, p. 247-271, 2011.

LIAOTRAKOON, W. *et al.* Dragon fruit (*Hylocereus* spp.) seed oils: Their characterization and stability under storage conditions. **JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 90, n. 2, p. 207–215, 2013.

LIM, H. K. *et al.* Chemical composition and DSC thermal properties of two species of *Hylocereus cacti* seed oil: *Hylocereus undatus* and *Hylocereus polyrhizus*. **Food Chemistry**, v. 119, n. 4, p. 1326–1331, 2010.

LONE, A. B. *et al.* Temperatura na germinação de sementes de genótipos de pitaya. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p. 2251–2258, 2014.

MIZRAHI, Y. Vine-cacti pitayas - the new crops of the world. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 1, p. 124–138, 2014.

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

NUNES, E. N. *et al.* Pitaia (*Hylocereus* sp . ): Uma revisão para o Brasil. **Gaia Scientia**, v. 8, n. 1, p. 90–98, 2014.

ORTIZ, T. A. *et al.* Effects of the hydrogen potential and fungicide treatment on *Pitaya* seed germination. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 37, n. 1, p. 69, 2014.

ORTIZ, T. A.; MORITZ, A.; TAKAHASHI, L. S. A. Physiological maturity of pitahaya (*Hylocereus undatus*) seeds and its correlation with fruit equatorial diameter. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, n. 12, p. 1197–1204, 2015.

RIVERA, Noé Aguilar; LAGUNES, Ricardo Serna; VÁZQUEZ, Teresita de Jesús Debernardi. **Competitividad de biorrefinerías de sistemas agroindustriales**. In: GONZÁLEZ, Graciela Carrillo; BUSTILLOS, Luis Gilberto Torres. *Biorrefinerías y economía circular*. Ciudad de México: Casa Abierta Al Tiempo, 2019. Cap. 3. p. 57-75.

RUI, H. *et al.* Extraction and characteristics of seed kernel oil from white pitaya. **Journal of Food Engineering**, v. 93, n. 4, p. 482–486, 2009.

RUTHS, Rodrigo. **Propagação vegetativa de *Selenicereus setaceus* e a influência da temperatura e luminosidade na germinação das espécies *Selenicereus setaceus*, *Hylocereus undatus* e *Hylocereus polyrhizus***. 2016. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável) - Programa de Pós Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável, Universidade Federal da Fronteira Sul, Laranjeiras do Sul, 2016. Disponível em: [http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFFS\\_db085f76b826be0ed2d5b7807492c35c](http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFFS_db085f76b826be0ed2d5b7807492c35c). Acesso em: 21 nov. 2018.

SAENJUM, C.; PATTANANANDECHA, T.; NAKAGAWA, K. Antioxidative and anti-inflammatory phytochemicals and related stable paramagnetic species in different parts of dragon fruit. **Molecules**, v. 26, n. 12, 2021.

SAGAR, N. A. *et al.* Fruit and Vegetable Waste: Bioactive Compounds, Their Extraction, and Possible Utilization. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 3, p. 512–531, 2018. 1968–1987, 2015.

SMALL, Ernest. **Top 100 Exotic Food Plants**. New York: CRC Press, 2012.

TENORE, G. C.; NOVELLINO, E.; BASILE, A. Nutraceutical potential and antioxidant benefits of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) extracts. **Journal of Functional Foods**, v. 4, n. 1, p. 129–136, 2012.

TIEN, N. N. T. *et al.* Influence of location , weather condition , maturity , and plant disease on chemical profiles of dragon fruit ( *Hylocereus* spp .) branches grown in Vietnam. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 2022.

VERONA-RUIZ, A.; URCIA-CERNA, J.; PAUCAR-MENACHO, L. M. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Culture, physicochemical characteristics, nutritional composition, and bioactive compounds. **Scientia Agropecuaria**, v. 11, n. 3, p. 439–453, 2020.

VILLALOBOS-GUTIÉRREZ, M. G. *et al.* Chemical characterization of Central American pitaya (*Hylocereus* sp.) seeds and seed oil. **CYTA - Journal of Food**, v. 10, n. 1, p. 78–83, 2012.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Promover a valorização das sementes de pitaya orgânica (*Hylocereus undatus*) produzidas no estado de Santa Catarina por meio do reaproveitamento, estudo e caracterização dessas sementes.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar uma prospecção científica sobre as sementes de pitaya para situar o conhecimento científico acerca dessa matriz alimentar;
- Desenvolver uma metodologia de separação entre semente e polpa de pitaya aplicando processo térmico, ácido e enzimático;
- Analisar a cinética de secagem das sementes a 45 °C e ajustar os modelos matemáticos de Page, Lewis e Henderson & Pabis aos resultados experimentais;
- Determinar a composição proximal das sementes de pitaya;
- Determinar a estabilidade térmica e as temperaturas de mudança de fase das sementes desidratadas por meio de ensaios de Calorimetria Exploratória Diferencial e Termogravimetria;
- Avaliar as propriedades tecnológicas das sementes desidratadas por meio dos ensaios de Capacidade de Retenção de Água, Índice de Solubilidade, Capacidade de Retenção de Óleo e Atividade Emulsificante;
- Determinar as isotermas de adsorção a 25°C das sementes de pitaya desidratadas inteiras e em pó e ajustar os modelos matemáticos de Guggenheim, Anderson e Boer (GAB), Bruanuer, Emmett e Teller (BET linearizado), BET camadas finitas, Peleg, Smith e Oswin aos dados experimentais;
- Realizar estudos preliminares de protocolos histológicos e histoquímicos para caracterização morfológica das sementes de pitaya por ensaios de microscopia óptica;
- Realizar estudos preliminares de extração sólido-líquido, aplicando-se solventes com diferentes polaridades e determinar o rendimento de extração.



## **CAPÍTULO 1**

### **Resíduos alimentares e pitaya: uma breve abordagem**

## RESUMO

A maneira como vivemos impacta diretamente a forma como utilizamos os recursos naturais, especialmente a forma como nos alimentamos. A geração de resíduos alimentares tornou-se um grande problema mundial, que associado ao crescente aumento populacional, tem impactado na segurança alimentar. Estudos têm sido realizados com objetivo de reduzir a produção ou reaproveitar os resíduos alimentares produzidos. A pitaya, conhecida como *Dragon Fruit* é uma fruta exótica que vem ganhando espaço na produção e no comércio de frutas exóticas em diversos países, incluindo o Brasil, cujo sul catarinense, vem ganhando destaque. Além do aumento no interesse pelo consumo, especialmente devido sua composição nutricional e a presença de substâncias bioativas, o processamento desta fruta no setor alimentício e no setor de cosméticos vem crescendo. O processamento da fruta aumenta a possibilidade da geração de resíduos, especialmente advindos de suas sementes, cuja caracterização e valorização é uma maneira preventiva para evitar a produção desses resíduos. Assim, o objetivo deste capítulo foi realizar uma abordagem sobre os resíduos alimentares e apresentar as características de produção e composição das frutas pitaya e sua importância social para as famílias produtoras da cidade de Turvo.

**Palavras-chave:** Subproduto. Desperdício. *Dragon fruit*. Segurança alimentar. Economia Circular.

### ABSTRACT

The way we live directly impacts how we use natural resources, especially the way we eat. The generation of food waste has become a major global problem, which is associated with the growing population and has impacted food security. Studies have been carried out to reduce production or reuse food waste produced. The pitaya, known as Dragon Fruit is an exotic fruit that has gained space in the production and trade of exotic fruits in several countries, including Brazil where the south of Santa Catarina has been gaining prominence. In addition to the increase in interest in consumption, especially due to its nutritional composition and the presence of bioactive substances, fruit processing in the food and cosmetics sectors has been growing. Fruit processing increases the possibility of generating residues, especially from its seeds, whose characterization and recovery is a preventive way to avoid the production of these residues. Thus, the objective of this chapter was to carry out an approach to food waste and present the characteristics of production and composition of pitaya fruits and their social importance for the producing families in the city of Turvo.

**Keywords:** By-product. Waste. Dragon fruit. Food security. Circular economy.

## 1. RESÍDUOS ALIMENTARES

A maneira como vivemos está diretamente relacionada ao consumo de recursos. Isso inclui a forma como habitamos, nos alimentamos, nos locomovemos, como temos acesso à tecnologias e a recursos como, por exemplo, água e energia elétrica. Esse comportamento está intimamente ligado ao que chamamos de qualidade de vida. Contudo, muitos desses recursos são extraídos de fontes naturais e, de forma sistemática, a extração tem superado a velocidade com que os sistemas naturais conseguem repor, além do desperdício por meio da geração de resíduos (RIVERA; LAGUNES; VÁZQUES, 2019). Somado a isto, o crescimento populacional mundial, cujas estimativas prevêm um aumento de 2 bilhões de habitantes para o ano de 2050, bem como, o aumento do processo de urbanização que deve alcançar 70 % nesse mesmo período, promovem o aumento das demandas por alimentos. Nesta perspectiva haverá o aumento na geração de resíduos, com conseqüente impacto na segurança alimentar, nutricional e no meio ambiente (ONU, 2019a; 2019b). Estima-se que 80 % de todos os alimentos produzidos até 2050 devam ser consumidos nas cidades (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2019).

Quando avaliamos os sistemas alimentares por esta ótica e, embora tenha havido o aumento na produção de alimentos, parte da população mundial ainda é afetada pela insegurança alimentar. E esta realidade foi fortemente intensificada no período da pandemia causado pela Covid-19 desde o início de 2020. De acordo com o relatório SOFI 2021 publicado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), 2,3 bilhões de pessoas, que correspondem a 30 % da população mundial, não tiveram acesso à alimentação adequada durante o ano de 2020. Entre 720 e 811 milhões de pessoas distribuídas ao redor do globo (10 % do total) passaram fome em 2020, somando 161 milhões a mais do que o observado ano de 2019. Destas, 60 milhões residem na América Latina e Caribe (FAO *et al.*, 2021). Em muitas partes do mundo, a pandemia provocou recessões, causou aumento nos preços e prejudicou o acesso aos alimentos, como é o caso do Brasil. O Inquérito Nacional sobre Insegurança Alimentar no Contexto da Pandemia da Covid-19 no Brasil, publicado em 2021, evidenciou que dos 211,7 milhões de brasileiros, 116,8 milhões (55 % da população), conviveram com algum grau de insegurança alimentar no ano de 2020 (classificado como leve, moderado ou grave). Destes, 19 milhões (9 %) enfrentaram a fome (insegurança alimentar grave), que em números, equivale a quase a três vezes a

população total estimada para o estado de Santa Catarina em 2021 (IBGE, 2021; REDE PENSSAN, 2021).

Em contrapartida, toneladas de alimentos são desperdiçados todos os anos, indicando falhas em diferentes etapas da cadeia alimentar, que devem ser superadas no sentido de reduzir tais perdas. De acordo com Raúl Osvaldo Benítez, representante da FAO para América Latina e Caribe, estima-se que 1,3 bilhão de toneladas de alimentos produzidos para o consumo humano são perdidos ou desperdiçados anualmente. Isso equivale a cerca de um quarto de tudo o que é produzido no mundo, ou seis caminhões de lixo de alimentos adequados ao consumo perdidos a cada segundo. Essas perdas estão presentes em todas as etapas da cadeia alimentar: 22% durante o manejo e o armazenamento, 17% no mercado e na distribuição, 28% na produção, 6% no processamento e 28% pelos consumidores. Destes resíduos, até 50 % deles são compostos por raízes, frutas, hortaliças e sementes (BENÍTEZ, 2021; FOUNDATION, 2019).

Tratando-se da geração de resíduos pela agroindústria, somente o processamento de frutas tem sido responsável por milhões de toneladas de resíduos gerados anualmente, o que tende a intensificar com o aumento no investimento da capacidade de produção. Muitos destes resíduos, todavia, podem ser considerados subprodutos e serem aproveitados. Contudo, a grande maioria ainda é descartada, aumentando os custos para as empresas e sendo um problema ao meio ambiente. A produção de suco de frutas e de polpas congeladas, por exemplo, gera toneladas de resíduos, especialmente oriundos de cascas e sementes, chegando a representar 40 % do total de resíduos agroindustriais gerados (NASCIMENTO FILHO; FRANCO, 2015). De acordo com estatísticas da FAO (2011), na América Latina são perdidos aproximadamente 25 % das frutas e vegetais, descartados somente durante a etapa de processamento.

Os resíduos gerados pela agroindústria durante o processamento de alimentos podem ser enquadrados como perda de alimentos. De acordo com a FAO (2011):

A perda de alimentos refere-se à diminuição da massa alimentar comestível em toda a cadeia de fornecimento que é destinada ao consumo humano. As perdas alimentares ocorrem nas fases de produção, pós-colheita e processamento na cadeia de abastecimento alimentar. Perdas alimentares ocorridas no fim da cadeia alimentar (varejo e consumo final) são chamadas

de “desperdício de alimentos”, que se relaciona o comportamento dos varejistas e dos consumidores.

Segundo Benítez (2021), a América Latina e o Caribe são responsáveis por 6 % das perdas mundiais de alimentos. No Brasil, o desperdício equivale a 22 bilhões de calorias que seriam suficientes para satisfazer as necessidades nutricionais de 11 milhões de pessoas, o que permitiria reduzir a fome em níveis inferiores a 5 % no país. O Brasil é um dos maiores produtores de alimentos do mundo. Contudo, tem enfrentado dificuldades em relação ao desperdício de alimentos, que ocorre em todas as etapas de produção, desde a colheita (10 %), passando pelo transporte e processamento (50 %) se estendendo para a comercialização (30 %) e preparo nos lares (10 %) (RIVERA; LAGUNES; VÁZQUEZ, 2019).

Há alguns fatores que influenciam a perda de alimentos durante a cadeia produtiva: as escolhas e padrões de produção, capacidade de produção e infra-estrutura interna, cadeias de comercialização, canais de distribuição e as práticas de compra e uso de alimentos pelo consumidor. O intenso crescimento populacional, que é acompanhado pelo aumento do consumo, também influencia na quantidade de resíduos gerados (FAO, 2011). Essas perdas afetam a segurança alimentar e a sustentabilidade dos sistemas alimentares, reduzindo a disponibilidade local e mundial dos alimentos. Isso induz o aumento de preços para os consumidores, reduz os recursos naturais para os produtores de alimentos e afeta o meio ambiente pela utilização dos recursos naturais de forma não sustentável (BENÍTEZ, 2021). Além disso, essas perdas representam desperdício dos recursos associados à produção como água, terra, energia e insumos, além de aumentar a emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e provocar a perda do valor econômico dos alimentos produzidos (FAO, 2011). Desta forma, a Organizações das Nações Unidas (ONU), por meio da definição dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que fazem parte da Agenda 2030, instituiu como meta a redução do desperdício alimentar global pela metade até o ano de 2030 (ONUBR, 2019). No entanto, as consequências da pandemia têm deixado esta meta difícil de ser alcançada.

Devido ao crescimento populacional esperado para 2050 (somando aproximadamente de 9,7 bilhões de pessoas) (ONU, 2019 a) esperam-se mudanças no estilo de vida e no modo de consumo. Isso porque se estima que um aumento de 70 % na produção de alimentos será necessário para alimentar esta população em crescimento (FAO, 2009). Essa projeção, para o consumo de alimentos, irá impactar diretamente na

disponibilidade de recursos, que também está intimamente relacionado ao modelo econômico adotado pelos países.

Durante décadas os modelos de produção e de consumo foram baseados no uso intensivo dos recursos, cujo pilar econômico linear se apoiava na tríade: extrair, produzir e descartar, do inglês *Take-Make-Waste* (WEETMAN, 2019). De acordo com o Relatório de Cidades de Economia Circular dos Alimentos, publicada pela Ellen MacArthur Foundation (2019), estima-se que para cada dólar gasto em alimentos, a sociedade paga dois dólares com custos de saúde, ambientais e econômicos. A Economia Circular pauta que esta relação está associada ao modo de consumo, que causa problemas de desnutrição e obesidade, impulsionados pelo modelo linear em que os alimentos são produzidos, por meio de um processo de extração de recursos finitos, desperdiçador e poluente, que causa danos à saúde e aos meios naturais.

Atualmente, questiona-se este modelo econômico linear e acredita-se que ele não será capaz de se sustentar em um futuro próximo com mudanças climáticas, destruição de ecossistemas, crescimento populacional e escassez de recursos naturais. Nesta perspectiva, devem-se haver mudanças de hábitos, como propõe a Economia Circular, um modelo que busca romper esta linearidade, baseada na restauração e regeneração dos recursos (reduzir, reutilizar e reciclar) (GHOSH, 2019), que se pauta como uma alternativa ao sistema econômico linear de produção. É um modelo econômico de produção que busca a não geração de resíduos, de modo a reduzir os impactos ambientais negativos (GHOSH, 2019; WEETMAN, 2019). Além disso, o modelo considera o resíduo como parte da produção, pois na Economia Circular, os resíduos não existem se forem considerados no projeto industrial e, são sempre considerados como um tipo de produto (GONZÁLEZ; SÁNCHEZ, 2019). Uma vez que a Economia Circular visa fechar o ciclo dos materiais de uma forma sistêmica, a valorização dos resíduos agroalimentares é, todavia, uma das formas de fechar este ciclo (CERVANTE; SOLÍS; TURPIN, 2019). Esse modelo vem ao encontro da Bioeconomia que se baseia no uso sustentável dos recursos biológicos, que envolve, entre outros, a produção de biopolímeros, pigmentos naturais, alimentos funcionais, alimentos biofortificados e outros (GONZÁLEZ; SÁNCHEZ, 2019).

Em um país como o Brasil, que possui a maior biodiversidade de flora e fauna do planeta, é indispensável que haja investimentos em um modelo econômico que seja baseado no uso mais sustentável dos seus recursos naturais. A Fundação Ellen

MacArthur, juntamente ao programa *Circular Economy 100 Brazil* (CE100-BRASIL, 2017), publicaram um estudo em 2017, apresentando uma introdução sobre as atividades de Economia Circular existentes no Brasil e possíveis oportunidades. O estudo se concentrou em três setores importantes da economia brasileira: agricultura e ativos da biodiversidade, edifícios e construção e equipamentos eletroeletrônicos (CE100-BRASIL, 2017). De acordo com o relatório, no que se refere à esfera agrícola, o Brasil deve:

Ampliar esforços existentes em modelos de negócio regenerativos em agricultura e ativos da biodiversidade. A aplicação de modelos regenerativos na agricultura e em bioeconomias urbanas poderia restaurar a grande reserva de capital natural do Brasil, aumentar a diversidade biológica, fechar ciclos de nutrientes, aumentar o conteúdo nutricional dos alimentos e, simultaneamente, aumentar a produção agrícola e sua lucratividade (CE100-BRASIL, 2017, p. 12).

Vale destacar que a economia brasileira hoje depende fortemente de dois de seus mais importantes recursos renováveis: terra agricultável e, mais amplamente, da biodiversidade. Para se ter uma ideia da importância destes recursos, somente o agronegócio respondeu por 26,6 % do Produto Interno Bruto (PIB) em 2020 no país (CEPEA/ESALQ, 2021). É importante destacar que práticas de Economia Circular no setor agrícola já têm sido introduzidas no país, cujos exemplos são: as certificações ambientais, como a *Roundtable for Sustainable Palm Oil*, extração de valor adicional com o aproveitamento em cascata dos produtos agrícolas (resíduos da polpa e cascas oriundos da produção de suco de laranja destinados para a produção de ração, óleos essenciais e álcool e outras) (CE100-BRASIL, 2017).

Quando se pensa em um sistema alimentar circular, este pode imitar sistemas naturais de regeneração para que o resíduo não exista, ou seja minimizado, passando assim, a ser considerado como matéria prima para outro ciclo de produção. Dentro desta perspectiva, a produção agrícola e o processamento na indústria de alimentos no Brasil e, no resto do mundo, têm enfrentado o desafio de reduzir a geração de resíduos alimentares. Uma estratégia tem sido a utilização destes resíduos para a produção de novos ingredientes (RIVERA; LAGUNES; VÁZQUEZ, 2019). Compreendendo a extensão do problema e a potencialidade que esses resíduos representam, diversos pesquisadores têm dedicado seus estudos aos resíduos gerados pela indústria de alimentos. Um dos exemplos de maior sucesso é o soro de leite, considerado um resíduo gerador de grande impacto ambiental há algumas décadas e, hoje, é um produto de valor



agregado utilizado na indústria de laticínios para a produção de diversos produtos lácteos.

No processamento de frutas, por exemplo, os resíduos gerados podem conter substâncias ativas potencialmente extraíveis que incluem oligossacarídeos, polissacarídeos, proteínas, fibras, aromas e vários compostos fitoquímicos, como os ácidos graxos e os polifenóis (DIAS *et al.*, 2019; SAGAR *et al.*, 2018). Diversos estudos têm apontado o grande potencial nutricional e bioativo desses materiais, especialmente em extratos de sementes. Os estudos com extrato de sementes de butiá indicaram a presença de vinte e cinco compostos, como o ácido cinâmico e ácido caprílico que foram apontados como possíveis responsáveis pela a atividade antioxidante e antibacteriana observada nestes materiais (CRUZ *et al.*, 2017). Os estudos com extratos lipídicos de umbu (*Spondias tuberosa*) apontaram grande potencial bioativo, com alta presença de compostos fenólicos e boa atividade antioxidante (DIAS *et al.*, 2019). Mohamed *et al.* (2016), reportam que os extratos obtidos a partir da semente de uva são ricos em compostos bioativos como o  $\alpha$ -tocoferol,  $\alpha$ -tocotrienol e  $\delta$ -tocotrienols e compostos fenólicos, que apresentaram atividade antioxidante. Segundo Lutterodt *et al.* (2011). os extratos de sementes de uva de diversas variedades, além de terem importante composição em ácidos graxos, como o ácido linoléico e o ácido oléico, também possuem compostos antioxidantes e apresentaram inibição significativa do crescimento de células cancerígenas.

Por outro lado, o consumo de frutas tropicais está aumentando no mercado doméstico e internacional, devido ao crescente reconhecimento de seu valor nutricional e terapêutico. As frutas de pitaya seguem essa tendência, podendo representar uma oportunidade, não somente para os produtores locais ganharem acesso a mercados especiais, onde os consumidores apreciam seu caráter exótico, mas também, como fonte nutritiva de compostos bioativos (MOO-HUCHIN *et al.*, 2014). Contudo, são também frutas que apresentam potencial geração de resíduos durante o processamento industrial, especialmente em função do descarte das suas sementes. Entretanto, tal resíduo pode constituir um subproduto de grande potencial econômico e tecnológico como fonte para extração de óleos e extratos com potencial bioativo, bem como, de seu uso como matéria prima para a incorporação em outros produtos. Embora ainda sejam escassos, estudos com semente de pitaya têm apontado potencialidade bioativa nessas sementes (CHEMAH *et al.*, 2010; LIM *et al.*, 2010).

Na última década, uma variedade de produtos agroindustriais obtidos a partir do processamento de frutas de pitaya tem sido encontrada no mercado nacional e internacional. Dentre eles, podemos destacar: polpas congeladas, cremes, sorvetes, desidratados na forma de pós ou em pedaços da fruta, sucos, chás, bebidas alcoólicas, *smoothie*, geléias, doces, pó corante, *flavour* concentrado e outros. As pitayas também despertam o interesse como matéria-prima na indústria de cosméticos e produtos de higiene, como também na formulação de suplementos e nutrição esportiva. Alguns produtos são apresentados na Figura 1.

Figura 1- Produtos processados a base de pitaya: 1) produtos nacionais, 2) produtos desidratados e de cor e 3) produtos de beleza e para suplementação



Fontes: <https://frooty.com.br/produtos-pitaya/> - <https://nossafrutabrasil.com.br/sabores/> - <http://www.chafeelgood.com.br/matchinesperado/> - <https://www.pitayaplus.com> [https://www.cervejariaphare.com.br/loja?gclid=CjwKCAiA8OjjBRB4EiwAMZe6y3mJhuJRyoPpG5aOCt4ban\\_PmJ336NMlenWMkCoUlrLb2YccrQzxoCD54QAvD\\_BwE](https://www.cervejariaphare.com.br/loja?gclid=CjwKCAiA8OjjBRB4EiwAMZe6y3mJhuJRyoPpG5aOCt4ban_PmJ336NMlenWMkCoUlrLb2YccrQzxoCD54QAvD_BwE) <http://volupta.com/product/crunchy-white-dragon-fruit> - <https://www.fortvitta.com.br/pitaya-auxilia- imunidade-e-emagrecimento-60-capsulas-fortvitta> - <https://www.faunaeflora.com.br/pitaya-termogenica-500mg-60caps> - <https://www.capellaflavors.com/dragon-fruit-flavor-concentrate-13ml.html> <https://berri-fit.com/products-4/> - <https://popjoymix.com> - <https://www.boticario.com.br/pitaya>

Esta diversidade de produtos demonstra o crescente interesse por esta fruta exótica no mercado, gerando uma nova demanda relacionada ao seu processamento: a geração de resíduos e o reaproveitamento destes como matrizes alimentares de alto valor agregado.

## 2. PITAYA

Nos últimos anos, a conscientização da população quanto ao consumo de alimentos mais saudáveis, tem impulsionado a fruticultura, uma vez que as frutas são alimentos naturalmente funcionais. Devido a esta prática, abriu-se um espaço para o consumo de diferentes espécies frutíferas que incluem as frutas exóticas, por possuírem sabor diferenciado e interessante conteúdo de minerais, fibras e compostos antioxidantes. O Brasil, devido a suas características geográficas, apresenta grande potencial para o cultivo de frutas exóticas, o que pode contribuir, não somente na melhoria da economia, mas especialmente, no desenvolvimento social e humano dentro das regiões produtoras. Dentre as espécies de frutas exóticas, a pitaya apresenta boa perspectiva de comercialização no país, não apenas devido aos benefícios relacionados à produção, mas também, devido aos seus atributos físicos, sensoriais e nutricionais que contribuem para o conceito de alimentação saudável (QUEIROGA *et al.*, 2021).

A pitaya é uma fruta exótica pertencente à família das Cactáceas, também conhecida por: pitaia, pitahaya, pitajaya, *Strawberry Pear*, *dragon pearl fruit*, *Thanh long* (em vietnamita) ou apenas *dragon fruit* (fruta dragão), cujos nomes envolvem diferentes espécies da mesma fruta (TIEN *et al.*, 2022; SMALL, 2012). O nome pitaya e pitahaya é originário do idioma Taino, pertencente a uma civilização pré-colombiana que habitava algumas ilhas da América Central, cujo significado é fruta escamosa (NUNES *et al.*, 2014). O primeiro registro escrito sobre esta fruta - "*Há outra árvore que cresce nas fendas das pedras, não em solo bom; a qual é chamada de pythaya*"-, foi datado em 1494 pelo historiador do descobrimento das Américas pelos espanhóis, Pedro Mártir de Anglería (QUEIROGA *et al.*, 2021).

Originária do México e América Central a pitaya, atualmente, tem sido cultivada em muitas áreas tropicais e subtropicais em todo o mundo, incluindo países como Venezuela, Panamá, Uruguai, Brasil, Colômbia e México (HUA *et al.*, 2018). É uma fruta atraente, não apenas por sua aparência exótica e cores marcantes, mas também, por suas propriedades bioativas, valor nutricional e alto valor comercial, o que

tem despertado o interesse dos consumidores e da indústria alimentícia (HUA *et al.*, 2018). Além disso, é uma planta pouco suscetível a doenças e ataques de pragas, o que torna seu manejo simples, com baixo custo de produção e seu cultivo pode dispensar o uso de agrotóxicos, uma vez que se desenvolve bem com adubos orgânicos (CEASA/SC, 2019).

Essa fruta esteve praticamente desconhecida até meados da década de 90, tendo recebido destaque nos últimos 10 anos e sendo recente a sua importância no cultivo comercial nacional e internacional. O Vietnã foi o primeiro país, em 1995, a comercializar essa fruta com o nome de *Dragon Pearl Fruit* (Fruta de pérola do dragão, em tradução livre). Atualmente, o Vietnã possui as terras agrícolas mais extensas de pitaya (mais de 55.000 hectares) e é considerado o principal exportador da fruta no mercado internacional (MIZRAHI, 2014; TIEN *et al.*, 2022)

Com a crescente demanda por frutos exóticos, mundialmente, o mercado da pitaya tem sido favorecido. Isso se deve a possibilidade de cultivo em regiões de solos menos propícios a outras culturas, como solos pedregosos, arenosos e maciços rochosos, além do atrativo valor pago por quilo da fruta (QUEIROGA *et al.*, 2021). Atualmente, a pitaya ocupa um nicho crescente no mercado internacional de frutas exóticas, assim como nos mercados domésticos dos seus países produtores, como Vietnã, Malásia, Colômbia, México, Costa Rica e Nicarágua. Contudo, esta fruta é cultivada e comercializada em mais de vinte países, sendo o Vietnã o principal produtor e exportador (LE BELLE; VAILLANT, 2011; MIZRAHI, 2014). Sua produtividade média é variável, pois depende das técnicas de cultivo, idade do pomar e das condições edafoclimáticas (clima, relevo, temperatura, umidade do ar, radiação, tipo de solo, vento, composição atmosférica e a precipitação pluvial) podendo variar de 10 a 30 toneladas por hectare (LE BELLEC; VAILLANT; IMBERT, 2006). Uma das grandes vantagens desta cultura é que, uma vez plantada, ela permanecerá viável por cerca de vinte anos e, apenas um hectare, poderá acomodar cerca de 800 frutas de pitaya (PERWEEN; MANDAL; HASAN, 2018). Devido à falta de dados padronizados de produção ou falta de dados disponíveis, ainda é difícil estabelecer um valor de produção mundial para esta fruta e, conseqüentemente, quantificar a geração de resíduos provenientes de sua produção.

No Brasil, o cultivo de pitaya está em fase de expansão. A região sudeste é a maior produtora, com destaque para o estado de São Paulo, cujo cultivo teve início com

a espécie *Hylocereus undatus* (*H. undatus*) na década de 90. Nos anos 2000, outras espécies do mesmo gênero, como *Hylocereus polyrhizus*, foram introduzidas no Brasil (NUNES *et al.*, 2014). Embora essa fruta seja considerada exótica, são encontradas espécies nativas no Brasil que vegetam naturalmente, como a *Selenicereus setaceus* Rizz, conhecida como pitaya-do-cerrado, pitaya-vermelha, pitaya baby ou “saborosa”, que é comercializada, especialmente, por comunidades extrativistas (JUNQUEIRA, *et al.*, 2002).

A produção de pitaya em 2017 atingiu quase 1.500 toneladas no Brasil (IBGE-SIDRA, 2017). Embora a produção de pitaya ainda apresente pouca expressão econômica quando comparada a outras frutas comercializadas no país, ainda assim, vem ganhado espaço a cada ano nos centros de comercialização, o que tem feito elevar sua produção (QUEIROGA *et al.*, 2021).

Devido à crescente produção e comércio de pitaya no país, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) realizou, em 2017, o primeiro Censo Agropecuário sobre a produção de pitaya no Brasil. De acordo com as estatísticas do IBGE (Tabela 1), o Brasil possui 3.087 estabelecimentos produtores de pitaya. As unidades produtoras acima de 50 pés de pitaya são as mais representativas, somando 553 mil pés plantados desta fruta, onde 79 % deles se encontram nas regiões Sul e Sudeste. Entre os estados ganham destaque, em número de estabelecimentos cultivadores de pitaya, o Rio Grande do Sul, Minas Gerais e São Paulo, sendo que o Estado de Santa Catarina ocupa a quinta posição (IBGE-SIDRA, 2017). De acordo com a Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP), no ano de 2017 foram comercializadas 604,16 toneladas da pitaya da espécie *H. undatus* em São Paulo, sendo o 116º produto mais comercializado no local (GEAGESP, 2019).

A principal cidade produtora de pitaya é Catanduva, localizada no estado de São Paulo, com uma produtividade de 14 toneladas da fruta por hectare entre os meses de dezembro e maio. Em 2013, foram comercializadas 319 toneladas da produção nacional, além de um grande volume importado da Colômbia que representou 6 % do volume comercializado nas CEASAS (SANTOS *et al.*, 2018).

Tabela 1 - Número de estabelecimentos agropecuários de lavoura permanente de cultivo de pitaya no Brasil no ano de 2017

Número de estabelecimentos agropecuários (Unidades)					
País	un*	Grandes Regiões	un	Estados	un
Brasil	3.087**	Sudeste	1.231	Rio Grande do Sul	650
		Sul	1.216	Minas Gerais	578
		Norte	252	São Paulo	526
		Nordeste	217	Paraná	291
		Centro-Oeste	171	Santa Catarina	275
				Pará	208
				Bahia	142
				Espírito Santo	80
				Goiás	74
				Mato Grosso do Sul	68
				Rio de Janeiro	47
				Pernambuco	23
				Amazonas	19
				Ceará	19
				Mato Grosso	17
				Paraíba	15
				Distrito Federal	12
				Amapá	10
				Rondônia	8
				Alagoas	7
Tocantins	6				
Sergipe	6				
Piauí	3				
Rio Grande do Norte	2				
Roraima	1				
Acre	-				
Maranhão	-				

Fonte: Adaptado de IBGE-SIDRA (2017)

\*un = unidade

\*\* 3.087 = 640 unidades com mais de 50 pés e 2.447 unidades com menos de 50 pés de pitaya.

O IBGE aponta um total de 553 mil pés de pitaya em áreas de cultivo no Brasil (Tabela 2), com destaque para São Paulo, o estado com maior número (151 mil). Contudo, a região sul apresenta números próximos à região sudeste, sendo Santa Catarina o Estado com o segundo maior número de pés de pitaya no Brasil (110 mil).

Tabela 2 - Número de pés de pitaya existentes nos estabelecimentos agropecuários de lavoura permanente de pitaya no Brasil

País		Estados	
Brasil	553.000	São Paulo	151.000
		Santa Catarina	110.000
		Pará	86.000
		Rio Grande do Sul	43.000
		Minas Gerais	40.000
		Paraná	29.000

Fonte: Adaptado de IBGE-SIDRA (2021)

Em Santa Catarina, o cultivo de pitaya popularizou-se há cerca de 10 anos e, desde então, vem crescendo e ganhando mercado. A safra 2020/2021 teve um volume estimado de 1.000 toneladas comercializadas, o que representou um crescimento de 60 % em comparação à safra 2019/2020, consolidando o estado como um dos maiores pólos produtores sustentáveis desta fruta no Brasil. O cultivo da fruta movimentou, em 2020, um valor aproximado de 1,8 milhões de reais em Santa Catarina (EPAGRI, 2021).

O sul catarinense é o maior produtor da fruta no Estado, sendo responsável por 90 % da produção, estando aproximadamente 150 famílias envolvidas na produção. Em muitas propriedades da região, sobretudo em Içara e Turvo, a pitaya é uma das principais fontes de renda dessas famílias (CEASA/SC, 2019; IBGE-SIDRA, 2017). Turvo é o município líder de produção no estado, possuindo o maior número de pés de pitaya, 13 mil no total. Além disso, a produção dessa fruta tem tido um papel social importante, uma vez que o seu cultivo, no modelo orgânico, tem substituído o cultivo de fumo na região (IBGE-SIDRA, 2017).

## 2.1 PITAYA: *HYLOCEREUS UNDATUS*

As pitayas são agrupadas em quatro gêneros: *Stenocereus* (Britton & Rose), *Cereus* (Mill), *Selenicereus* (Riccob) e *Hylocereus* (Britton & Rose), possuindo particularidades quanto ao formato, tamanho, tonalidade da polpa e da casca, presença ou ausência de espinhos, dentre outras. No gênero *Hylocereus*, cujo nome científico é *Hylocereus ssp.*, são conhecidas aproximadamente dezesseis espécies. Dentre elas, as espécies com hábito “trepadeira” têm maior distribuição mundial, onde a *Hylocereus undatus* (Haw.), Britton & Rose (*H. undatus*) é a espécie de pitaya mais cosmopolita, ou

seja, a mais comercializada e consumida (LE BELLEC; VAILLANT, 2011; NUNES *et al.*, 2014; VERONA-RUIZ; URCIA-CERNA; PAUCAR-MENACHO, 2020).

A espécie *H. undatus*, cuja classificação taxonômica pode ser observada na Tabela 3, é uma cactácea perene, epífita secundária, xerófita, trepadeira com raízes aéreas. Possui cladódios verdes e longos (caules) que armazenam e regulam a água, tem redução ou ausência de folhas e superfícies recobertas com ceras naturais. Suas flores são hermafroditas, aromáticas, longas e brancas (até 29 cm de comprimento) com pólen amarelo. Estas desabrocham somente à noite uma única vez, sendo denominadas como *Queen of the Night* (Dama da Noite) e, em alguns países, são consumidas como vegetais secos, como suco ou geleia (LE BELLEC; VAILLANT, 2011; NUNES *et al.*, 2014; PERWEEN; MANDAL; HASAN, 2018). A pitaya possui Metabolismo Ácido das Crassuláceas (CAM). Este tipo de metabolismo suporta condições de baixa disponibilidade de água, graças a um sistema eficiente de concentração de gás carbônico, que aumenta a eficiência de uso da água. Enquanto as plantas C3 e C4 consomem de 250-350 L e 450-950 L de água/kg de matéria seca produzida, respectivamente, as plantas CAM consomem uma média de 18-25 L de água/kg de matéria seca produzida (QUEIROGA *et al.*, 2021).

Tabela 3 - Classificação taxonômica da pitaya *H. undatus*

Nome científico: <b>Hylocereus ssp.</b>	
<b>Reino</b>	Plantae
<b>Filo</b>	Magnoliophita
<b>Classe</b>	Magnoliopsida
<b>Ordem</b>	Caryophyllle
<b>Família</b>	Cactácea
<b>Gênero</b>	Hylocereus
<b>Espécie</b>	Hylocereus undatus

Fonte: Verona-Uuiz; Urcia-Cerna; Paucar-Menacho, (2020)

O fruto *H. undatus* é classificado como não climatérico, apresentando baixas taxas de respiração e produção de etileno durante o amadurecimento sendo, portanto, mais palatável em fases avançadas de maturação (QUEIROGA *et al.*, 2021). Tem formato oblongo (comprimento maior do que a largura), de casca (epicarpo) rosada, coberta por brácteas grandes, longas, de cor rosa e com pontas verdes, quando maduras.



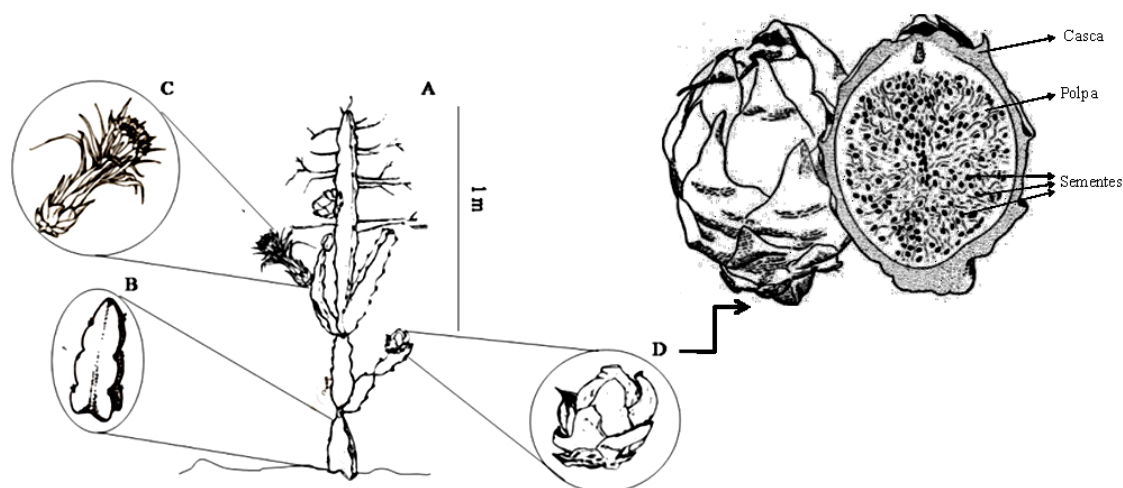
Seu fruto apresenta comprimento entre 15 e 22 cm, com a massa variando entre 300 g a 800 g e são colhidos quando atingem sua maturidade fisiológica. A parte comestível da fruta é composta por uma polpa branca, repleta de pequenas sementes macias e escuras obovadas, com sabor suavemente doce e, cuja textura, lembra o kiwi. O fruto é de rápido desenvolvimento, estando pronto para colheita de 30 a 40 dias após a abertura dos botões florais e todas as suas partes podem ser consumidas (SMALL, 2012). Na Figura 2 é possível observar um exemplar da *H. undatus* - a) Flor; b) Cacto e c) Fruto. Na Figura 3 é possível observar uma ilustração da planta de pitaya e das partes do fruto.

Figura 2 - *Hylocereus undatus*: flor, cacto e fruto



Fontes: <http://www.sfloresecia.com.br/site/hylocereus-undatus-pitaya-vermelha-fruta-gelatina/>  
[http://www.cactus-art.biz/schede/HYLOCEREUS/Hylocereus\\_undatus/Hylocereus\\_undatus/Hylocereus\\_undatus.htm](http://www.cactus-art.biz/schede/HYLOCEREUS/Hylocereus_undatus/Hylocereus_undatus/Hylocereus_undatus.htm)  
<https://worldofsucculents.com/hylocereus-undatus-night-blooming-cereus-pitaya-dragon-fruit-strawberry-pear/>

Figura 3 - Ilustração da planta de pitaya e partes do fruto



Fonte: Adaptado de UFL (2012) *Apud* Chestofbooks (2011) e Marques (2008)

A - Planta de Pitaya; B - Cladódio (caule); C - Flor; D - Fruto.

A polpa da pitaya representa de 60 % a 80 % da massa total do fruto maduro, enquanto a semente pode representar de 2 % a 5 % em base seca (b.s). A polpa possui

um teor de sólidos solúveis totais entre 12 a 18 °Brix, cujos maiores representantes são a glicose, frutose e os oligossacarídeos. Possui baixa acidez, baixo valor energético e destaca-se pelo significativo conteúdo de ácido ascórbico e de minerais. Possui baixo teor de proteínas e lipídeos e elevado teor de umidade (ARIFFIN *et al.*, 2009; MERCADO-SILVA, 2018; MOO-HUCHIN *et al.*, 2014; RATHORE *et al.*, 2021). Além disso, a presença de oligossacarídeos na polpa de pitaya (*H. undatus*) a classificou como uma fruta prebiótica, uma vez que promoveu a melhora da saúde intestinal, estimulando seletivamente a microbiota colonial em camundongos (KHUITUAN *et al.*, 2019). Na Tabela 4 é possível observar um resumo da composição nutricional da polpa de pitaya *H. undatus*.

Tabela 4 - Composição nutricional da polpa da pitaya *Hylocereus undatus*

Constituintes em 100 g de amostra	<i>H. undatus</i>
Água (g)	86,0 – 89,0
Proteína (g)	0,5 – 0,9
Lipídeos (g)	0,1 – 2,0
Fibras totais (g)	0,3 - 2,4
Carboidratos (g)	2,0 – 9,5
Glicose (g)	5,5
Frutose (g)	1,9
Cinzas (g)	0,5
Cálcio (mg)	6,0
Magnésio (mg)	26,6
Sódio (mg)	3,3
Potássio (mg)	399,5
Fósforo (mg)	19,0
Ferro (mg)	0,4
Niacina (mg)	0,2
Ácido ascórbico (mg)	25,0

Fonte: Adaptado de Abreu *et al.* (2012); Mercado-Silva (2018) e Rathore *et al.* (2021).

A pitaya (*H. undatus*) também apresenta fibras alimentares, sendo a maioria insolúvel. Possui ácidos orgânicos, antocianinas, polifenóis, flavonoides e carotenóides, os quais têm sido associados à atividade antioxidante. A presença dessas substâncias, com propriedades antioxidantes, tem despertado o interesse nesse fruto devido ao seu potencial efeito benéfico à saúde humana (HUA *et al.*, 2018; MOO-HUCHIN *et al.*, 2014). A casca da fruta, além da elevada concentração de betalainas, é também uma fonte interessante de pectinas, apresentando potencial para reduzir o colesterol total,

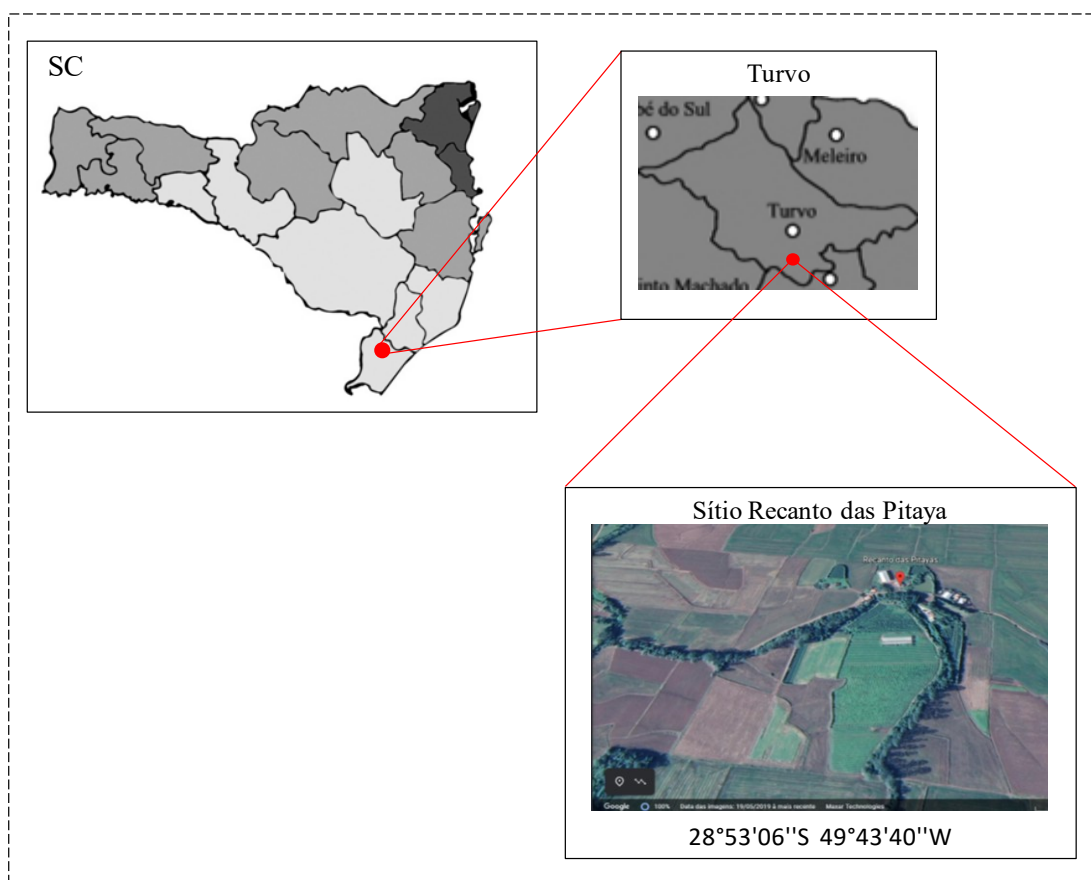
triglicerídeos e lipoproteínas de baixa densidade (VERONA-RUIZ; URCIA-CERNA; PAUCAR-MENACHO, 2020).

Devido ao crescente interesse pela pitaya, especialmente sobre a polpa e a casca, diversos estudos vêm apontando suas propriedades nutricionais, propriedades tecnológicas, compostos bioativos, atividade antioxidante e atividade antibacteriana. Alguns estudos avaliaram a quantidade e as características das pectinas presentes na polpa e na casca, a extração e aplicação das betalainas contidas na casca e quantificam flavonoides, fitoesteróis e outros compostos fenólicos (CHEMAH *et al.*, 2010; DEMBITSKY *et al.*, 2011; MELLO *et al.*, 2015; NURMAHARANI *et al.*, 2012; RAMÍREZ-TRUQUE; ESQUIVEL; CARLE, 2011; TONGKHAM *et al.*, 2017; ZHUANG; ZHANG; SUN, 2012). Os fitoquímicos, principalmente as classes de fenóis, esteróis, flavonoides, ácidos graxos e tocoferol, presentes e distribuídos em todas as partes da fruta, têm feito crescer o interesse por seu potencial terapêutico, alguns já explorados como o potencial antioxidante relacionado aos polifenóis; antimicrobiano relacionado à betacianina; anticâncer relacionado aos terpenoides; antidiabético relacionado aos flavonoides e nutracêntrico relacionado aos ácidos graxos poli-insaturados, vitaminas e oligossacarídeos (JOSHI; PRABHAKAR, 2020). Contudo, estudos sobre as sementes de pitaya *H. undatus* ainda são escassos na literatura, especialmente no Brasil, e se restringem às potencialidades da composição lipídica, com pouco foco nas propriedades tecnológicas e bioativas que estas matrizes possam apresentar (CHEMAH *et al.*, 2010; RUI *et al.*, 2009; VILLALOBOS-GUTIÉRREZ *et al.*, 2012).

### 2.3 SÍTIO RECANTO DAS PITAYAS

O Sítio Recanto das Pitayas, de agricultura familiar, está localizado na comunidade de Linha Contessi, na cidade de Turvo, no Estado de Santa Catarina, sendo administrada pelos irmãos Feltrin. O sítio é parceiro, por meio da doação de frutas de pitaya *H. undatus*, para o estudo e desenvolvimento desta tese. A localização da propriedade pode ser observada na Figura 4.

Figura 4 – Localização do Sítio Recanto das Pitayas



Fonte: Elaborada pela autora, (2021) com auxílio do *Google Earth*

Por anos, tradicionalmente o fumo foi o único cultivo da propriedade, sendo o tabaco o único produto comercial e, portanto, a única fonte de renda da família. A busca por alternativas mais rentáveis e sustentáveis, com a menor necessidade de uso de defensivos agrícolas e outros insumos, bem como, pela melhor qualidade de vida da família, foi o motivador para substituir o fumo pelo cultivo de pitaya orgânica, que passou a acontecer a partir de 2011.

A escolha pela fruta ocorreu após uma entrevista televisionada, assistida por um dos irmãos sobre produção de pitaya e, assim, iniciou o plantio, de forma experimental, com 125 mudas desta fruta em 2010. Em 2011, a família buscou apoio técnico por meio do Programa Nacional de Diversificação em Áreas Cultivadas com Tabaco (PNDACT) do governo federal, com auxílio da Cooperativa de Trabalho dos Engenheiros Agrônomos e de Profissionais em Desenvolvimento Rural e Ambiental de Santa Catarina (UNEAGRO-SC). O programa busca melhorar a qualidade de vida dos produtores por meio do incentivo ao desenvolvimento de culturas alternativas e

economicamente viáveis nas unidades familiares de produção agrária. Assim, o sítio conseguiu implementar e ampliar sua produção, que teve início com as pitayas das espécies *Hylocereus undatus* (polpa branca), *Hylocereus Polirhizus* (polpa roxa) e *Hylocereus megalanthus* (casca amarela, conhecida como pitaya amarela colombiana). As frutas tiveram boa aceitação no mercado e, são atualmente, as mais produzidas e comercializadas na propriedade. Em 2012 as pitayas produzidas passaram a receber o selo de orgânico da Rede Ecovida de Agroecologia e, a partir de 2014, o sítio deixou de produzir fumo e passou a se dedicar unicamente ao cultivo das frutas, obtendo uma colheita de 9.000 toneladas por hectare, neste mesmo ano. Imagens da produção das frutas podem ser observadas na Figura 5.

Figura 5 – Imagens do Sítio Recanto das Pitayas em Turvo - SC



Fonte: Facebook recanto das pitayas (2021)

Para o sistema de plantio da pitayas, são utilizados palanques para a sustentação das mudas ou plantas, com um distanciamento de 3 metros entre linhas e de 1 a 1,5 metros entre as fileiras. Os palanques possuem 2 metros de comprimento, onde meio metro fica abaixo da superfície, ficando 1,5 metros de apoio para o cacto. Para melhorar o desenvolvimento da copa do cacto, aplica-se uma estrutura simples de madeira após a muda chegar ao topo (Figura 6). Atualmente, a propriedade conta com 8.000 pés de pitaya plantadas em uma área de aproximadamente 4 hectares de um total de 10 hectares. O processo de plantio, seguido da colheita, acontece entre os meses de novembro e maio do ano seguinte. A produção anual é de aproximadamente 30 toneladas por hectare, obtidos em maioria, de pomares adultos e em plena produção.

Figura 6 – Uso de palanque no sistema de plantio de pitaya orgânica pelo Sítio Recanto das Pitayas



Fonte: Facebook (2021)

A produção de pitaya no sítio atende o mercado externo, com destino a Madri. Contudo, sua produção atende principalmente o mercado interno, sendo destinado aos estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Mato Grosso, São Paulo e Cuiabá. As frutas também são comercializadas em feiras, empresas de processamento, supermercados e ao consumidor final. Além disso, de forma sazonal, o sítio produz artesanalmente geléia, cachaça e licor da fruta (Figura 7).

Figura 7 – Produtos produzidos sazonalmente pelo Sítio Recanto das pitayas com a fruta pitaya



Fonte: Facebook Recanto das Pitayas (2021)

O Sítio Recanto das Pitayas passou a cultivar também outras frutas exóticas, como a laranja champagne, a atemóia e a bergamota Decocon. A inserção do sistema orgânico no sítio foi um incentivo para a mudança no sistema de outras propriedades produtoras nas proximidades, que também substituíram a produção de fumo pelo cultivo de frutas orgânicas como a pitaya, banana e maracujá, por exemplo. Atualmente, o sítio também oferece assistência técnica a outros produtores, durante as visitas ao sítio e por meio *online* da venda de mudas.

O sítio conta com parcerias de órgãos públicos, com objetivo de melhorar a qualidade de produção e de incentivo ao desenvolvimento do conhecimento científico. Entre eles pode-se citar o Laboratório de Tecnologia de Alimentos no Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina, estando esta tese associada (produção científica), a Embrapa Cerrado, com uso da área de produção como campo experimental (teste de novos cultivares e produção científica),

Epagri e Uneagro (assistência técnica). Por meio dessas parcerias, a fazenda ampliou a produção e o número de espécies de pitaya produzidas, inserindo a BRS Luz Embrapa, BRS Lua do Cerrado Embrapa e BRS Mini pitayinha do Cerrado.

Além da produção e comercialização das frutas, a propriedade dedica-se, desde 2019, à produção e comercialização de mudas, as quais são obtidas de plantas já em produção e comercializadas em dois tamanhos, 20 cm e 40 cm. A coleção conta com cerca de vinte e cinco espécies de pitaya.

Todas as informações descritas sobre o Sítio Recanto das Pitayas foram obtidas por meio da família Feltrin.



## REFERENCIAS

ABREU, W. C. DE *et al.* Características físico-químicas e atividade antioxidante total de pitaias vermelha e branca Physicochemical characteristics and total antioxidant activity of red and white pitaya. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 71, n. 4, p. 656–661, 2012.

ARIFFIN, A. A. *et al.* Essential fatty acids of pitaya (dragon fruit) seed oil. **Food Chemistry**, v. 114, n. 2, p. 561–564, 2009.

BENÍTEZ, R. O. **Perdas e desperdícios de alimentos na América Latina e no Caribe**. [s.l.: s.n.]. Disponível em:

<<https://www.fao.org/americas/noticias/ver/pt/c/239394/>>.

CE100-BRASIL. **Uma economia circular no Brasil: Uma abordagem exploratória inicial**. [s.l.: s.n.].

CEPEA/ESALQ. **PIB do agronegócio: PIB do agronegócio alcança participação de 26,6% no PIB brasileiro em 2020**. 2021. Disponível em: <https://cepea.esalq.usp.br/br/releases/pib-agro-cepea-com-avanco-de-24-3-no-ano-pib-agro-alcanca-participacao-de-26-6-no-pib-brasileiro-em-2020.aspx>. Acesso em: 10 dez. 2021.

CHEMAH, T. C. *et al.* Determination of pitaya seeds as a natural antioxidant and source of essential fatty acids. **International Food Research Journal**, v. 17, n. 4, p. 1003–1010, 2010.

CRUZ, P. N. *et al.* Antioxidant and antibacterial potential of butia (*Butia catarinensis*) seed extracts obtained by supercritical fluid extraction. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 119, p. 229–237, 2017.

DEMBITSKY, V. M. *et al.* The multiple nutrition properties of some exotic fruits: Biological activity and active metabolites. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1671–1701, 2011.

DIAS, J. L. *et al.* Extraction of umbu (*Spondias tuberosa*) seed oil using CO<sub>2</sub>, ultrasound and conventional methods: Evaluations of composition profiles and antioxidant activities. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 145, n. September 2018, p. 10–18, 2019.

FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. **The State of Food Security and Nutrition in the World 2021. Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all**. Rome, FAO. 2021.

<https://doi.org/10.4060/cb4474en>

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nation. **How to feed the world in 2050**. High level expert forum. Convened at FAO Headquarters in Rome on 12-13 October. 2009. Disponível em:

[http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert\\_paper/How\\_to\\_Feed\\_the\\_World\\_in\\_2050.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf). Acesso em: 26 de jul. 2021.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nation. **Global food losses and food waste: Extent, causes and prevention**. Rome, 2011. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i2697e.pdf>. Acesso em: 15 de mar. 2019.

FUNDATION, E. M. **Cidades e economia circular dos alimentos**. [s.l.: s.n.].

GEAGESP. Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo. **Guia Geagesp: Pitaia**. Companhia de entrepostos e armazéns gerais de São Paulo, 2019. Disponível em: <http://www.ceagesp.gov.br/guia-ceagesp/pitaia/> Acesso em: 03 de fev 2019.

GHOSH, S. K. **Circular economy: Global perspective**. Kolkata: Springer, 2019.

HUA, Q. *et al.* Plant Physiology and Biochemistry Metabolomic characterization of pitaya fruit from three red-skinned cultivars with different pulp colors. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 126, n. September 2017, p. 117–125, 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades IBGE**. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/panorama>. Acesso em: 10 dez. 2021.

IBGE-SIDRA. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário 2017**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6956>. Acesso em: 14 dez. 2021.

JOSHI, M.; PRABHAKAR, B. Phytoconstituents and pharmaco-therapeutic benefits of pitaya: A wonder fruit. **Journal of Food Biochemistry**, v. 44, n. 7, 2020.

KHUITUAN, P. *et al.* Prebiotic oligosaccharides from dragon fruits alter gut motility in mice. **Biomedicine and Pharmacotherapy**, v. 114, n. December 2018, p. 108821, 2019.

LE BELLEC, F.; VAILLANT, F.; IMBERT, E. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a new fruit crop, a market with a future. **Fruits**, v. 61, n. 4, p. 237–250, 2006.

LE BELLEC, F.; VAILLANT, F. Pitahaya (pitaya) (*Hylocereus* spp.). In: YAHIA, Elhadi M. **Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits: Volume 4: Mangosteen to white sapote**. Woodhead Publishing, Philadelphia, p. 247-271, 2011.

LIM, H. K. *et al.* Chemical composition and DSC thermal properties of two species of *Hylocereus* cacti seed oil: *Hylocereus undatus* and *Hylocereus polyrhizus*. **Food Chemistry**, v. 119, n. 4, p. 1326–1331, 2010.

LUTTERODT, H. *et al.* Fatty acid composition, oxidative stability, antioxidant and antiproliferative properties of selected cold-pressed grape seed oils and flours. **Food Chemistry**, v. 128, n. 2, p. 391–399, 2011.

MARQUES, Virna Braga. **Propagação seminífera e vegetativa de pitaia (*Hylocereus undatus* (Haw. Britton & Rose))**. 2008. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de

- Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008. Cap. 1. Disponível em: <http://files.pitaya-pitaia.webnode.com.pt/200000155-54454553f6/DISSERTACAO%20VIRNA%20BRAGA.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2019.
- MELLO, F. R. DE *et al.* Antioxidant properties, quantification and stability of betalains from pitaya (*Hylocereus undatus*) peel. **Ciência Rural**, v. 45, n. 2, p. 323–328, 2015.
- MERCADO-SILVA, Edmundo M. Pitaya—*Hylocereus undatus* (Haw). In: RODRIGUES, Sueli; SILVA, Ebenezer de Oliveira; BRITO, Ed Souza de. **Exotic Fruits Reference Guide**, Elsevier Inc, p. 339-346, 2018
- MIZRAHI, Y. Vine-cacti pitayas - the new crops of the world. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 1, p. 124–138, 2014.
- MOHAMED, H. BEN *et al.* Bioactive compounds and antioxidant activities of different grape (*Vitis vinifera* L.) seed oils extracted by supercritical CO<sub>2</sub> and organic solvent. **LWT - Food Science and Technology**, v. 74, p. 557–562, 2016.
- MOO-HUCHIN, V. M. *et al.* Determination of some physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of tropical fruits from Yucatan, Mexico. **Food Chemistry**, v. 152, p. 508–515, 2014.
- NASCIMENTO FILHO, W. B.; FRANCO, C. R. Avaliação do potencial dos resíduos produzidos através do processamento agroindustrial no Brasil. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 1968–1987, 2015.
- NUNES, E. N. *et al.* Pitaia (*Hylocereus sp.*): Uma revisão para o Brasil. **Gaia Scientia**, v. 8, n. 1, p. 90–98, 2014.
- NURMAHARANI, M. M. *et al.* Antibacterial property of *Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus* peel extracts. **International Food Research Journal**, v. 19, n. 1, p. 77–84, 2012.
- ONU a (New York). United Nations (org.). Department of Economic and Social Affairs Population Division. **World Population Prospects 2019: Volume II: Demographic Profiles**. 2019a. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/Publications/>. Acesso em: 10 dez. 2021.
- ONU b (New York). United Nations. **ONU News: ONU prevê que cidades abriguem 70% da população mundial até 2050**. 2019b. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701/>. Acesso em: 10 dez. 2021.
- ONUBR. Nações Unidas Brasil. **Conheça os novos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU**. Nações Unidas do Brasil, 2019. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/conheca-os-novos-17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-da-onu/>. Acesso em: 03 de mar. 2019.
- PERWEEN, T.; MANDAL, K.; HASAN, M. Dragon fruit: An exotic super future fruit of India. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry JPP**, v. 7, n. 72, p. 1022–

1026, 2018.

QUEIROGA, V. D. P. *et al.* **Pitahaya (Hylocereus spp.) Sistema produtivo de cactos trepadeiras.** Campina Grande: AREPB, 2021.

RAMÍREZ-TRUQUE, C.; ESQUIVEL, P.; CARLE, R. Neutral sugar profile of cell wall polysaccharides of pitaya (*Hylocereus* sp.) fruits. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 3, p. 1134–1138, 2011.

RATHORE, P. *et al.* Study of the Chemical Composition of *Hylocereus Undatus* and Its Utility after Dehydration. **European Journal of Agriculture and Food Sciences**, v. 3, n. 5, p. 60–66, 2021.

REDE PENSSAN. **Insegurança Alimentar e Covid-19 no Brasil VIGISAN - Inquérito Nacional sobre Insegurança Alimentar no Contexto da Pandemia da Covid-19 no Brasil**, 2021.

RIVERA, Noé Aguilar; LAGUNES, Ricardo Serna; VÁZQUEZ, Teresita de Jesús Debernardi. **Competitividad de biorrefinerías de sistemas agroindustriales.** In: GONZÁLEZ, Graciela Carrillo; BUSTILLOS, Luis Gilberto Torres. *Biorrefinerías y economía circular.* Ciudad de México: Casa Abierta Al Tiempo, 2019. Cap. 3. p. 57-75.

RUI, H. *et al.* Extraction and characteristics of seed kernel oil from white pitaya. **Journal of Food Engineering**, v. 93, n. 4, p. 482–486, 2009.

SAGAR, N. A. *et al.* Fruit and Vegetable Waste: Bioactive Compounds, Their Extraction, and Possible Utilization. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 3, p. 512–531, 2018.

SANTOS, J. M. DOS *et al.* Maturidade fisiológica de sementes de pitaya. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 61, p. 1–7, 2018.

SMALL, Ernest. **Top 100 Exotic Food Plants.** New York: CRC Press, 2012.

TIEN, N. N. T. *et al.* Influence of location , weather condition , maturity , and plant disease on chemical profiles of dragon fruit ( *Hylocereus* spp .) branches grown in Vietnam. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 2022.

TONGKHAM, N. *et al.* Dragon fruit peel pectin: Microwave-assisted extration and fuzzy assessment. **Agriculture and Natural Resorces**, v. 51, p. 262–267, 2017.

UFL. Universidade Federal de Lavras. **Boletim Técnico n.º 92 - Cultivo de pitaia: Implementação.** Editora UFLA: Lavras, 2012. Disponível em: [https://pitaya-pitaia.webnode.com.pt/\\_files/200000388-65a7966a17/boletim-tecnico-92.pdf](https://pitaya-pitaia.webnode.com.pt/_files/200000388-65a7966a17/boletim-tecnico-92.pdf). Acesso em: 14 de fev. 2019.

UNQUEIRA, K. P.; JUNQUEIRA, N. T. V.; RAMOS, J. D.; PEREIRA, A. V. **Informações preliminares sobre uma espécie de Pitaya do Cerrado.** Documento 62, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002.

VERONA-RUIZ, A.; URCIA-CERNA, J.; PAUCAR-MENACHO, L. M. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Culture, physicochemical characteristics, nutritional composition, and bioactive compounds. **Scientia Agropecuaria**, v. 11, n. 3, p. 439–453, 2020.

VILLALOBOS-GUTIÉRREZ, M. G. *et al.* Chemical characterization of Central American pitaya (*Hylocereus* sp.) seeds and seed oil. **CYTA - Journal of Food**, v. 10, n. 1, p. 78–83, 2012.

WEETMAN, C. **Economia circular: Conceitos e estratégias para fazer negócios de forma mais inteligente, sustentável e lucrativa**. 1. ed. São Paulo: Editora Autêntica Business, 2019.

ZHUANG, Y.; ZHANG, Y.; SUN, L. Characteristics of fibre-rich powder and antioxidant activity of pitaya (*Hylocereus undatus*) peels. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 6, p. 1279–1285, 2012.

## **CAPÍTULO 2**

### **Sementes de pitaya *Hylocereus undatus*: estado da arte**

## RESUMO

As sementes de pitaya são estruturas obovadas, de cor preta brilhante e amplamente distribuída na polpa da fruta, possuindo elevado teor de carboidratos, proteínas e lipídeos. O interesse pelo processamento da fruta traz um alerta quanto o descarte das sementes e a necessidade de estudos para valorização das mesmas, com intuito de minimizar a geração de resíduos agroalimentares. Embora escassos, os estudos com sementes de pitaya *hylocereus undatus* reportam a sua elevada composição em ácidos graxos insaturados, que constituem 75 % do total dos lipídeos presentes. Além do elevado teor de proteínas e fibras insolúveis, as sementes de pitaya têm apresentado compostos bioativos, como ácidos fenólicos, flavonoides, tocoferóis e fitoesteróis, além de extratos com atividade antioxidante. Até o momento, todos os estudos sobre caracterização das sementes de pitaya *Hylocereus undatus* foram publicados a partir de frutas produzidas fora do Brasil. Desta forma, o objetivo deste capítulo foi apresentar um quadro completo do conhecimento atual sobre as características, composição e as potencialidades funcionais das sementes de pitaya, com enfoque especial na espécie *Hylocereus undatus*

**Palavras-chave:** *Dragon fruit*. Ácido graxo poli-insaturado. Fibra alimentar. Compostos bioativos. Antioxidante. Resíduo.

### ABSTRACT

Pitaya seeds are obovate structures, bright black in color and widely distributed in the fruit pulp, having a high content of carbohydrates, proteins and lipids. The interest in fruit processing brings an alert regarding the disposal of seeds and the need for studies to value them, to minimize the generation of agro-food waste. Although scarce, studies with pitaya *Hylocereus undatus* seeds report its high composition in unsaturated fatty acids, which constitute 75% of the total lipids present. In addition to the high protein and insoluble fiber content, pitaya seeds have shown the presence of bioactive compounds, such as phenolics, flavonoids, tocopherols, and phytosterols, in addition to extracts with antioxidant activity. To date, all studies on the characterization of pitaya *Hylocereus undatus* seeds have been published from fruits produced outside Brazil. Thus, the objective of this chapter was to present a complete view of current knowledge about the characteristics, composition, and functional potential of pitaya seeds, with a special focus on the species *Hylocereus undatus*.

**Keywords:** Dragon fruit. Polyunsaturated fatty acid. Dietary fiber. Bioactive compounds. Waste. Antioxidant.



## 1. SEMENTES

De acordo com a legislação brasileira, a semente “constitui o material de reprodução vegetal de qualquer gênero, espécie ou cultivar, proveniente de reprodução sexuada ou assexuada, que tenha finalidade específica de semeadura” (BRASIL, 2003, p. 3 - Art. 2º).

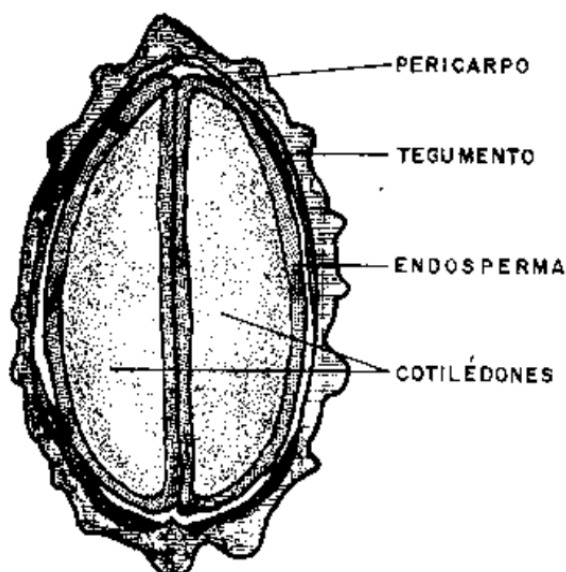
As sementes são a principal unidade de propagação e dispersão de plantas, cumprindo um papel biológico vital. Todavia, também possuem uma grande importância econômica e social para a humanidade, devido a sua capacidade de armazenar matéria orgânica. Assim, as sementes são utilizadas pelo homem basicamente de três maneiras: i) como alimento; ii) para alimentar animais de criação; iii) como matéria-prima para a indústria (SHEWRYL; CASEY, 1999).

Os elementos básicos que compõem as sementes são a cobertura protetora (tegumento), o embrião (eixo embrionário + cotilédones - mono ou di) e o tecido de reserva (endosperma) (POPINIGIS, 1985).

A cobertura protetora é a camada externa que delimita as sementes, formada pelo tegumento (casca), local onde se encontra a maior porcentagem de fibras nas sementes, sendo a celulose, seu principal componente. Possui diversas funções como: manter as partes internas das sementes unidas, proteger contra danos mecânicos, atuar como barreira à entrada de micro-organismos, regular a hidratação e as trocas gasosas e, em alguns casos, controlar a germinação por meio da dormência. O eixo embrionário é geralmente o menor componente (em massa) da semente, mas é a parte vital devido sua função germinativa, sendo capaz de iniciar a divisão celular e crescer, tanto em direção da raiz quanto em direção do caule. Os cotilédones podem armazenar reservas e sintetizá-las. São considerados um tecido vivo, por possuírem todo o aparato enzimático para promover a degradação e o transporte de suas próprias substâncias, visando o processo germinativo (POPINIGIS, 1985; CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

Para que o embrião se desenvolva é necessária uma fonte de energia, que está disposta no tecido de reserva. As reservas na forma de matéria orgânica podem estar localizadas nos cotilédones, no endosperma ou no perisperma (POPINIGIS, 1985; CARVALHO; NAKAGAWA, 2000). Contudo, as sementes podem variar quanto a sua estrutura e composição. Há sementes com um ou dois tegumentos, cuja cor e textura também variam, com ou sem endosperma, com um ou mais embriões e a superfície pode conter pelos (SOUZA, 2009). Para elucidar os componentes básicos de uma semente, na Figura 1 é apresentada uma ilustração de uma semente de feijão.

Figura 1 - Ilustração das partes da semente de feijão



Fonte: Popinigis (1985)

Além dos constituintes químicos básicos encontrados em um tecido vegetal, as sementes contêm quantidades extras de substâncias químicas armazenadas como reserva de alimento, para permitir o processo germinativo. As principais substâncias armazenadas pelas sementes são constituídas por carboidratos, proteínas e lipídeos (COPELAND; MECDONALD, 2001). Contudo, as sementes também contêm outras substâncias químicas que atuam no crescimento e controle do metabolismo (POPINIGIS, 1985; COPELAND; MECDONALD, 2001).

Dentre os componentes químicos da semente, os lipídeos apresentam alto teor de ácidos graxos insaturados, sendo os ácidos oleico, linoléico e linolênico os mais comuns, podendo encontrar-se complexados com proteínas e carboidratos. Sua concentração varia em função das características genéticas e das condições ambientais, estando presentes em maior concentração no cotilédone ou endosperma (CARVALHO, NAKAGAWA, 2000; COPELAND; MECDONALD, 2001).

A concentração de proteínas nas sementes pode variar muito dependendo da espécie da planta, das condições ambientais e das técnicas de cultivo. Mas, geralmente, estão presentes em menor proporção quando comparadas aos lipídeos e aos carboidratos, e se distribuem em todas as partes da semente, embora presentes em maior proporção no embrião e no endosperma (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000). As proteínas são armazenadas em

unidades conhecidas como corpos ou corpúsculos de proteínas. São semelhantes aos grânulos de amido em tamanho e forma, sendo uma mistura de diferentes proteínas, composta por albuminas, globulinas, gluteninas e prolaminas (SHEWRYL; CASEY, 1999; COPELAND; MECDONALD, 2001; SOUZA, 2009).

## 2. SEMENTES DE PITAYA *HYLOCEREUS UNDATUS*

As sementes de pitaya *Hylocereus undatus* (*H. undatus*) (Figura 2) são pequenas estruturas pretas obovadas, lisas e brilhantes, com diâmetro entre 2 a 3 mm, que estão distribuídas por toda polpa da fruta e possuem elevada capacidade de germinação (ORTIZ *et al.*, 2018; QUEIROGA *et al.*, 2021). No manejo, embora as sementes possam ser usadas para o processo de propagação da planta, o processo vegetativo para a propagação da planta (reprodução assexuada utilizando cortes do caule) é mais utilizado para esta fruta (ORTIZ-HERNÁNDEZ; CARRILLO-SALAZAR, 2012; ORTIZ *et al.*, 2018).

Figura 2 - Semente de pitaya *H. undatus*



Fonte: Próprio autor (2019)

\*Imagem obtida por microscópio óptica com ampliação de 20x.

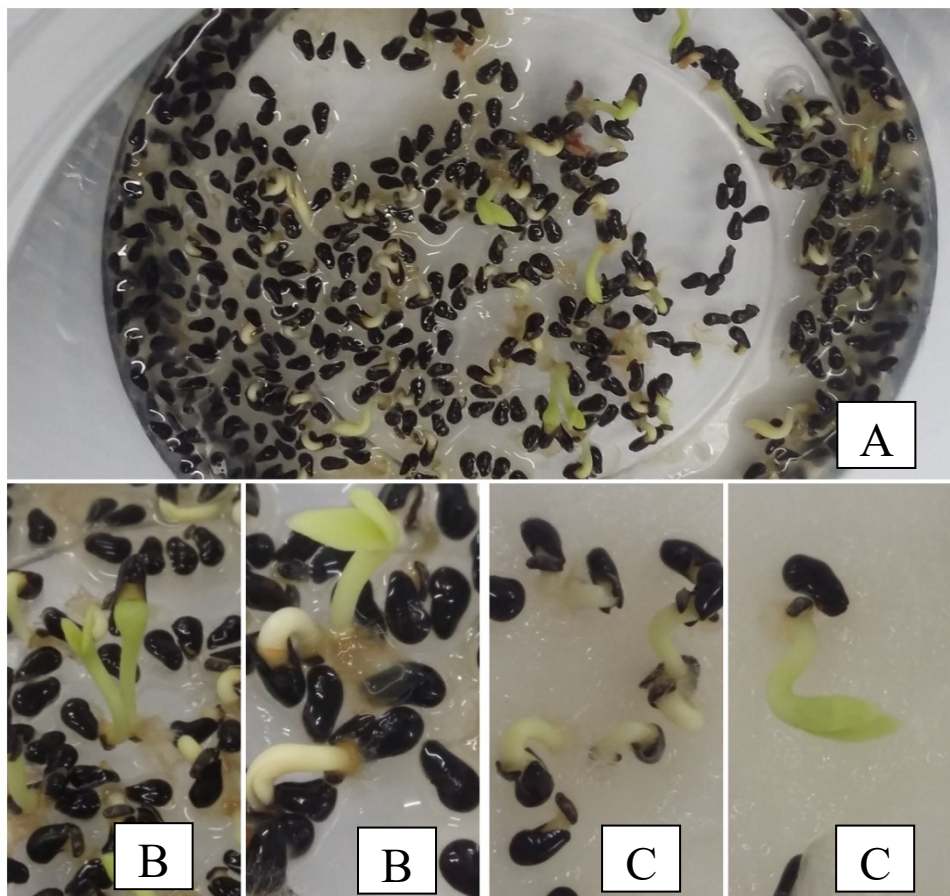
O conhecimento da composição química das sementes é importante por diversas razões: i) as sementes são uma fonte de alimento tanto para as pessoas como para os animais; ii) as sementes podem ser fontes de medicamentos; iii) podem conter componentes antinutricionais que afetam negativamente a nutrição humana e animal; iiiii) são importantes fontes de matéria-prima para diversas indústrias, especialmente a indústria de alimentos (COPELAND; MECDONALD, 2001).

Por outro lado, as sementes destinadas ao comércio e ao consumo, devem ser estabilizadas para que não ocorram modificações químicas e estruturais devido à atividade metabólica. Vale ressaltar que as sementes de pitaya estão presentes na polpa da fruta, a qual possui elevado teor de água. Neste sentido, a germinação é favorecida na presença de água e as modificações que ocorrem em função da germinação, por ser um processo catabólico, alteram a composição química das sementes levando, em alguns casos, ao consumo total do material de reserva (KERBAUY, 2013).

A adsorção de água pela semente (embebição) é o passo inicial para desencadear o processo germinativo, reativando seu metabolismo, aumentando sua atividade respiratória e degradando substâncias de reserva presentes na semente. Outros fatores exógenos também afetam o processo germinativo das sementes como a luz, temperatura e gases, os quais podem ser controlados por meio de condições adequadas de armazenamento (KERBAUY, 2013).

As sementes de pitaya, diferentemente de outras sementes, não passam pela fase de dessecação após seu desenvolvimento, que ocorre ainda na planta e promove a redução de até 90 % da sua umidade, como ocorre, por exemplo, com o milho e a soja. Essa característica, aliada ao fato de que as sementes de pitaya se encontram envoltas pela polpa da fruta, fornecem um ambiente apropriado para iniciar o processo germinativo, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Sementes de pitaya orgânica (*H. undatus*) em processo de germinação após seis dias, mantidas em ambiente de elevada umidade



Fonte: Próprio autor (2019) \*Estudo conduzido pela autora.

\*\*Nas sementes removidas da polpa, mas mantidas envoltas pela mucilagem (A) e sementes com mucilagem removida e pousadas em algodão úmido (B), o processo de germinação iniciou três dias após sua separação da polpa, inclusive, as sementes que foram mantidas na ausência de luz (C). Depois de cinco dias, já era possível observar a surgimento de plântulas, com a presença de pequenas raízes. Isso demonstra a importância da presença de água como iniciador do processo germinativo em sementes de pitaya (*H. undatus*).

Além da germinação, o elevado teor de água nas sementes, também, contribui para os processos deteriorativos em função da elevada atividade metabólica, bem como, no desenvolvimento de micro-organismos (PESKE, VILELA, LABBÉ-BAUDET, 2009). Sendo assim, para evitar o processo germinativo, retardar o processo de deterioração e viabilizar sua comercialização, as sementes de pitaya necessitam ser estabilizadas, o que pode ser viabilizado por meio de processos de secagem. Esse processo promove a redução do teor de umidade, sendo em pré-requisito para o armazenamento adequado de sementes, de forma a diminuir a velocidade de deterioração, preservando assim, sua qualidade. Contudo, deve-se estar atento às condições de processo, uma vez que a exposição de sementes a altas temperaturas ou a uma faixa crítica de temperaturas, por longos períodos, pode causar danos à

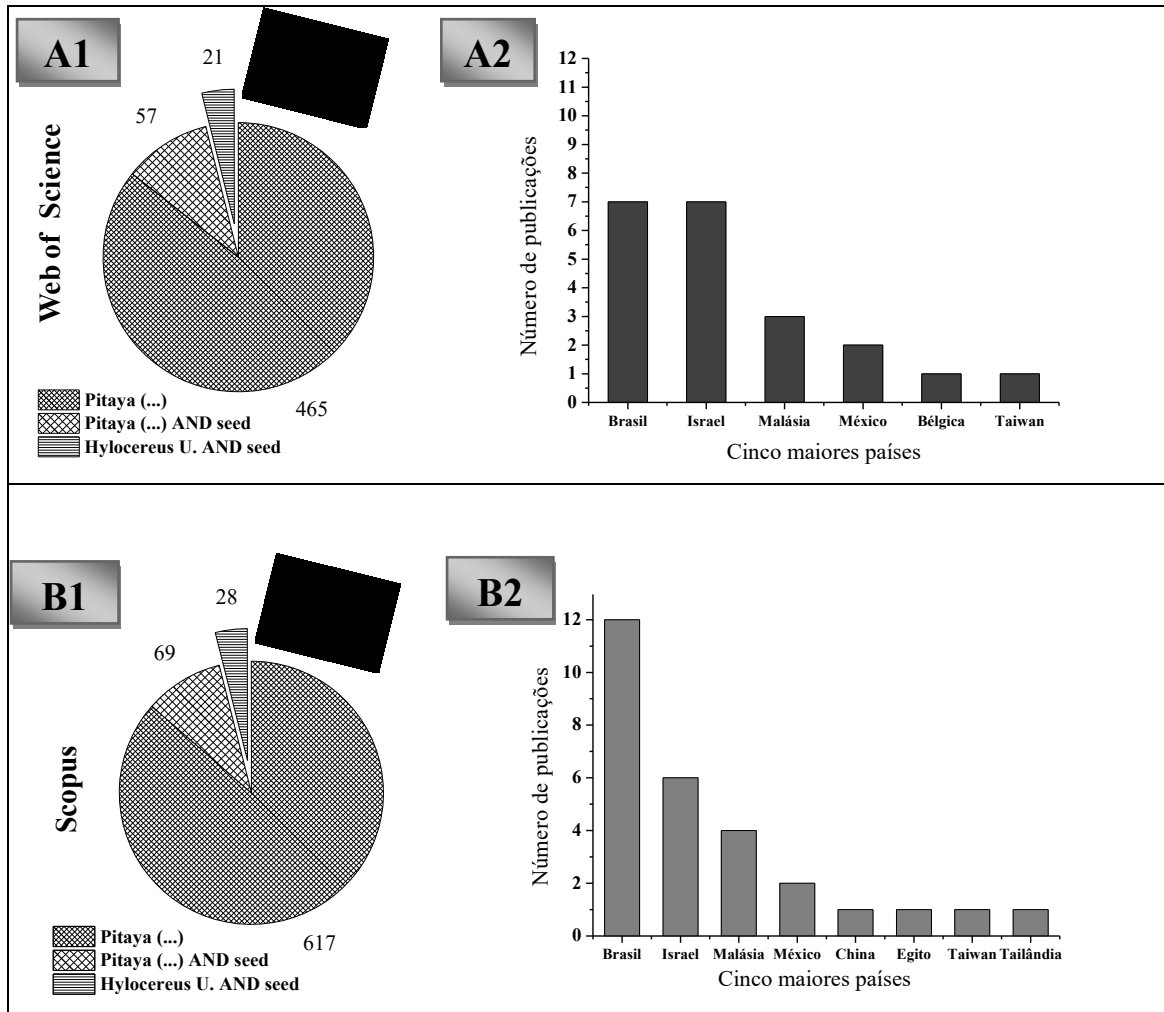
estrutura física e fisiológica, degradando compostos termosensíveis, reduzindo, assim, sua qualidade (BARROZO; MUJUMDAR; FREIRE, 2014). Porém, estudos com este caráter ainda não são encontrados, até o momento, na literatura.

### **3. SEMENTES DE PITAYA *HYLOCEREUS UNDATUS*: O ESTADO DA ARTE**

Os estudos com sementes de pitaya ainda são escassos na literatura, embora o interesse sobre o tema pitaya, incluindo suas sementes, venha crescendo nos últimos dez anos. Em prospecção científica, anteriormente realizada por esta autora, verificou-se que entre os anos de 1945 e 2018 cerca de trinta artigos haviam sido publicados sobre sementes de diferentes espécies de pitaya (Figura 4). Publicações com sementes de pitaya *H. Undatus* são, portanto, ainda menores. Todavia, é importante ressaltar que as publicações sobre esse tema têm sido destaque no Brasil. Dos dez artigos publicados entre 2015 e 2018, oito são de afiliação brasileira. A prospecção científica completa sobre a pitaya e suas sementes, poderá ser apreciada no **Apêndice A do Capítulo 1**.

Recentemente (entre 2019 e 2021), nove novos artigos sobre sementes de pitaya foram publicados. Destes, apenas três deles avaliavam as sementes do gênero *H. undatus*, com foco na ciência de alimentos (NGUYEN *et al.*, 2019; NIZAMLIOĞLU; ÜNVER; KADAKAL, 2021; SAENJUM; PATTANANANDECHA; NAKAGAWA, 2021). Isso pode estar associado ao crescente interesse sobre o estudo e aproveitamento de resíduos agroindustriais, como visto no capítulo anterior.

Figura 4 – Artigos publicados nas bases de dados *WOS* e *Scopus* utilizando os descritores [pitaya (...)], AND seed



Fonte: Elaborado pela autora a partir de *WOS* (2018) e *Scopus* (2018)

É importante lembrar que o processamento de alimentos, especialmente de frutas e vegetais, tem gerado como descartes diferentes partes de plantas como caule, cascas e sementes, por serem considerados resíduos. Entretanto, diversos estudos que avaliaram a composição desses resíduos, sugerem a presença de uma ampla gama de compostos bioativos em diferentes frações residuais. Dentre eles podem-se citar as vitaminas e nutrientes minerais, fibras, ácidos orgânicos, polifenóis, alcaloides, mucilagem, gomas, óleos e outros compostos com propriedades funcionais, que podem ser aplicados na indústria de alimentos, farmacêutica, cosmética e têxtil (DA SILVA; JORGE, 2014; SAGAR *et al.*, 2018). As sementes, por exemplo, em geral contêm lipídeos e polifenóis bioativos, enquanto sua casca é uma rica fonte de fibras alimentares (BANERJEE *et al.*, 2017).

### 3.1 COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

As sementes de pitaya compreendem de 2 a 5 % da fruta (base seca) (CHEMAH *et al.*, 2010). Sua composição proximal tem apresentado elevada concentração de carboidratos, fibras, proteínas e lipídeos, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição proximal das sementes de pitaya *H. undatus*

Composição físico-química	Teor (%) base seca	Estudos com <i>H. undatus</i>	País
Umidade	7,0 – 12,6	(VILLALOBOS-GUTIÉRREZ <i>et al.</i> , 2012)	Nicaragua
Carboidratos	35,2 – 48,7	(VILLALOBOS-GUTIÉRREZ <i>et al.</i> , 2012) (CHEMAH <i>et al.</i> , 2010)	Nicaragua Malásia
Fibra alimentar	30,2	(VILLALOBOS-GUTIÉRREZ <i>et al.</i> , 2012)	Nicaragua
Lipídeo	27,5 – 34,0	(VILLALOBOS-GUTIÉRREZ <i>et al.</i> , 2012) (CHEMAH <i>et al.</i> , 2010) (LIM <i>et al.</i> , 2010) (LIAOTRAKON <i>et al.</i> , 2013)	Nicaragua Malásia Malásia Tailândia
Proteínas	20,6 – 23,0	(VILLALOBOS-GUTIÉRREZ <i>et al.</i> , 2012) (CHEMAH <i>et al.</i> , 2010)	Nicaragua Malásia
Cinzas	2,1 – 3,8	(VILLALOBOS-GUTIÉRREZ <i>et al.</i> , 2012) (CHEMAH <i>et al.</i> , 2010)	Nicaragua Malásia

Fonte: Elaborado pela autora (2021) a partir de Chemah *et al.*, 2010; Liaotrakoon *et al.*, 2013; Lim *et al.*, 2010; Villalobos-gutiérrez *et al.* (2012).

O elevado teor proteico das sementes de pitaya pode ser comparado ao encontrado em leguminosas como grão-de-bico (21,2 %), feijão (20,0 %), ervilha (23,2 %) e gergelim (21,1 %), sendo superior à linhaça (14,1 %) e ao arroz integral (7,3 %) TACO (2011). O elevado teor proteico nessas sementes pode indicar a presença de aminoácidos essenciais e grande potencial nutricional e tecnológico desta matriz alimentar, embora estudos sobre o perfil de aminoácidos dessas sementes, até este momento, não tenham sido encontrados disponíveis na literatura.

Um estudo recente caracterizou pela primeira vez as sementes *H. undatus* em termos de composição mineral. De acordo com Nizamlioglu; Ünver; Kadakal, (2021) os minerais mais expressivos presentes nessas sementes foram o potássio (31,99 mg/kg), o magnésio (9,16 mg/kg), o fósforo (8,8 mg/kg), o enxofre (5,48 mg/kg) e o cálcio (1,9 mg/kg). Em menor concentração, estavam presentes também: sódio, ferro, zinco, boro, cobre, manganês, molibdênio e níquel.



O rendimento da extração lipídica, a partir das sementes de pitaya, é estimado entre 28 % e 34 %, podendo variar de acordo com as técnicas e os solventes empregados (ARIFFIN *et al.*, 2009; LIAOTRAKOON *et al.*, 2013; LIM *et al.*, 2010). Quantidades similares foram observadas em sementes de chia (VILLANUEVA-BERMEJO *et al.*, 2019). Estudos sobre processos de extração e caracterização de extratos obtidos a partir de sementes de pitaya *H. undatus* e outros de gêneros como *Hylocerus polihryzus* e *S. Megalanthus* são responsáveis pela maior parte das publicações sobre essa matriz alimentar. A partir destes extratos têm sido avaliados dois aspectos principalmente: 1) perfil de ácidos graxos e 2) presença de compostos bioativos.

### 3.2 PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS

A avaliação do perfil de ácidos graxos foi o tema mais abordado em publicações sobre sementes de pitaya *H. undatus*. Na Tabela 2 são apresentados os resultados reportados por diferentes estudos em relação a composição lipídica dessas sementes.

Os ácidos graxos, presentes nestas sementes, apresentam cadeia carbônica com 14 a 24 carbonos, variando entre saturados, insaturados e poli-insaturados. Entre os ácidos graxos saturados, o ácido palmítico (C16:0) ganha destaque pela maior concentração (ABDULLAH *et al.*, 2018; ALTUNA *et al.*, 2018; ARIFFIN *et al.*, 2009; LIAOTRAKOON *et al.*, 2013; RUI *et al.*, 2009). Entretanto, os ácidos graxos insaturados são os componentes majoritários da fração lipídica, compondo 75 % do total de ácidos graxos, sendo que destes, mais de 50 % correspondem à ácidos graxos poli-insaturados. Os óleos dessas sementes exibem um teor significativamente alto de ácidos graxos essenciais, o que as torna um interessante ingrediente para a utilização em formulações de alimentos e cosméticos, devido a sua importância nutricional (VILLANUEVA-BERMEJO *et al.*, 2019).

Dentre os ácidos graxos monoinsaturados, os maiores representantes nas sementes de *H. undatus* são o ácido oléico ( $\omega$ -9) e seu isômero, o ácido *cis*-vacênico (18:1a), que juntos, correspondem a mais de 25 % do teor total de lipídico nessas sementes. Valor similar foi encontrado em sementes de pitaya *H. megalanthus* (ALTUNA *et al.*, 2018). O ácido oléico também foi o maior representante monoinsaturado em *H. polihryzus* (ARIFFIN *et al.*, 2009; LIAOTRAKOON *et al.*, 2013; RUI *et al.*, 2009).

Os ácidos graxos poli-insaturados são os maiores representantes nas sementes de pitaya *H. undatus*, cujo ácido linoléico ( $\omega$ -6) pode apresentar um teor superior a 50 % do total de lipídeos nessas sementes, seguido pelo ácido linolênico ( $\omega$ -3). O mesmo foi observado para

sementes de pitaya *H. megalanthus* (ALTUNA *et al.*, 2018) e teores inferiores, porém próximos, foi reportado para *H. polihrysus* (ARIFFIN *et al.*, 2009; LIAOTRAKOON *et al.*, 2013; RUI *et al.*, 2009).

Tabela 2 - Perfil de ácidos graxos em sementes de pitaya *H. undatus* (g/100g b.s)

SATURADOS		Autores e países
• Ácido Mirístico (C14:0)	0,14 – 1,21	
• Ácido Pentadecanóico (C15:0)	1,07	
• Ácido palmítico (C16:0)	13,0 – 17,1	(CHEMAH <i>et al.</i> , 2010) (Malásia)
• Ácido marárico (17:0)	0,11	(ARIFFIN <i>et al.</i> , 2009) (Malásia)
• Ácido esteárico (C18:0)	4,7 – 7,2	(LIM <i>et al.</i> , 2010) (Malásia)
• Ácido nonadecanoico (19:0)	1,28	(LIAOTRAKOON <i>et al.</i> , 2013) (Tailândia)
• Ácido araquídico (C20:0)	0,35 – 12,64	(RUI <i>et al.</i> , 2009) (China)
• Ácido behênico (C22:0)	0,83 – 1,2	
• Ácido lignocérico (C24:0)	0,44	
INSATURADOS		Autores e países
✓ <i>Monoinsaturados</i>		
• Ácido palmitoleico (16:1)	0,15 – 0,79	
• Ácido Oleico (C18:1)	18,7 – 24,4	
• Ácido cis-vacênico (18:1a) (isômero oléico)	1,3 - 2,8	(CHEMAH <i>et al.</i> , 2010) (Malásia)
• Ácido gondoico (20:1)	0,16 – 25,1	(ARIFFIN <i>et al.</i> , 2009) (Malásia)
• Ácido erúcico (C22:1)	0,05 – 0,13	(LIM <i>et al.</i> , 2010) (Malásia)
		(LIAOTRAKOON <i>et al.</i> , 2013) (Tailândia)
		(RUI <i>et al.</i> , 2009) (China)
✓ <i>Poli-insaturados</i>		
• Ácido hexadecadienóico (C16:2)	0,15	
• Ácido linoleico (C18:2)	50,1 – 56	
• Ácido Linolênico (C18:3)	0,21 - 1,2	
• Ácido eicosatrienóico (C20:3)	0,07	
• Ácido araquidônico (C20:4)	0,07	

Fonte: Elaborado pela autora (2021) a partir de Ariffin *et al.* (2009); Chemah *et al.* (2010); Liaotrakoon *et al.* (2013); Lim *et al.* (2010) e Rui *et al.* (2009).

Os ácidos graxos poli-insaturados têm sido relatados como sendo capazes de reduzir os níveis de colesterol, sendo indicados na prevenção de risco cardiovascular. O consumidor valoriza os óleos vegetais com alto teor de ômega 3, 6 e 9, por considerá-los saudáveis e adequados para uma alimentação mais saudável. Do ponto de vista tecnológico, óleos com elevados teores de ácidos graxos monoinsaturados, como ocorre no do azeite de oliva, apresentam maior estabilidade no que se refere à oxidação lipídica, o que, aliado à presença do antioxidante natural  $\alpha$ -tocoferol, contribui com sua conservação (ALTUNA *et al.*, 2018).

Além de ser uma fonte potencial de ácidos graxos essenciais, os óleos de sementes de pitaya têm mostrado boa resistência à processos oxidativos. Segundo Liaotrakoon *et al.*(2013), os óleos de semente de pitaya armazenados à temperatura de 20 °C por três meses apresentaram velocidade baixa de oxidação. Após esse período, embora a redução de tocoferol tenha sido correlacionada com o processo oxidativo, agindo como um antioxidante, ainda foi mantido de 65 a 72 % da sua concentração inicial.

Portanto, em sementes de pitaya *H. undatus*, os principais representantes de ácido graxo, em ordem decrescente, são: o ácido linoleico (C18:2), o ácido oleico (C18:1) e o ácido palmítico.

É importante pontuar que a composição de ácidos graxos pode sofrer variações em função do método de extração aplicado e dos parâmetros de processo. Um estudo com sementes de pitaya avaliou diferentes métodos de extração, utilizando: extração assistida por micro-ondas (MAE) com hexano, extração com fluido supercrítico com solvente dióxido de carbono (SFE-CO<sub>2</sub>), extração enzimática aquosa (AEE) com celulose, pectinase, amilase e protease ácida e, por fim, uma combinação da extração enzimática aquosa com micro-ondas (MAEE). Para fins de comparação, foi realizada uma extração por Soxhlet (SE) com hexano. O método de extração afetou o perfil de ácidos graxos nos óleos de pitaya. Enquanto a extração com hexano foi capaz de extrair maiores teores de ácido graxos saturados, a extração supercrítica com CO<sub>2</sub>, foi a técnica que obteve maior concentração de ácidos graxos monoinsaturados (C18:1 e *iso*-C18:1) e poli-insaturado (C18:2) (RUI *et al.*, 2009).

### 3.3 COMPOSTOS BIOATIVOS

Uma alternativa para a utilização de resíduos alimentares, como as sementes, consiste na aplicação de processos de extração. A obtenção desses extratos tem se mostrado uma alternativa interessante para a obtenção de compostos bioativos, que oferecem uma gama de novas aplicações industriais, devido aos efeitos benéficos à saúde, comprovados pelo

consumo à longo prazo (BANERJEE *et al.*, 2017). Atividade antimicrobiana, antitumoral, antiviral, antimutagênica e cardioprotetora, são alguns dos benefícios que esses compostos bioativos podem conferir à saúde (SAGAR *et al.*, 2018).

Além da peculiar característica, no que se refere à composição de macronutrientes, alguns estudos indicam as sementes de pitaya *H. undatus* como uma potencial fonte natural de antioxidantes e, reportam a presença de uma variedade de compostos bioativos, conforme detalhado na Tabela 3. Observa-se que as sementes possuem elevado teor de ácidos fenólicos e flavonoides. De acordo com Saenjum; Pattananandecha; Nakagawa, (2021), os valores de fenólicos e flavonoides totais, reportados para as espécies de sementes *H. undatus*, foram significativamente superiores aos encontrados nas outras partes das frutas de pitaya (casca e polpa). A presença desses compostos bioativos foi associada à atividade antioxidante em espécies reativas de nitrogênio (RNS) e espécies reativas de oxigênio (ROS). Compostos fenólicos totais em menor concentração, em relação à *H. undatus*, foram reportados para sementes de pitaya *H. polyrhizus* (ADNAN; OSMAN; ABDUL HAMID, 2011) e *S. Megalanthus* (GRISALES *et al.*, 2017). Com relação aos flavonoides, teores similares e teores menores foram reportados para *H. polihryzuz* por Saenjum; Pattananandecha; Nakagawa, (2021) e Zulkifli *et al.* (2020), respectivamente, em comparação à *H. undatus*. Dos flavonoides destacados na Tabela 3 (kaempferol 3-rhamnoside e Rutina), as catequinas, embora sejam os flavonoides encontrados em maior teor em *H. polyrhizus*, não foram observadas nos estudos com *H. undatus* (ADNAN; OSMAN; ABDUL HAMID, 2011; SAENJUM; PATTANANANDECHA; NAKAGAWA, 2021).

Em matrizes alimentares, a atividade antimicrobiana tem sido associada à presença de flavonoides, enquanto a atividade antimicrobiana, antioxidante, antimicrobiana, anti-inflamatória e anticolestrémica, têm sido associadas à presença de outros compostos fenólicos (SUSHMITHA *et al.*, 2018).

Tabela 3 - Fitoquímicos presentes nas sementes de pitaya *Hylocereus undatus*

FITOQUÍMICOS	QUANTIDADE (base seca)	Autores e países
<b>Fenólicos totais</b>	33,0 mg - 38,0 mg GAE/100g* 338,7 ± 13,3 mg GAE/g	(CHEMAH <i>et al.</i> , 2010) (Malásia) (SAENJUM; PATTANANANDECHA; NAKAGAWA, 2021) (Tailândia)
	160 mg GAE /100g (solúveis) 560 mg GAE /100g (ligados)	(NGUYEN <i>et al.</i> , 2019) (Vietnã) (NGUYEN <i>et al.</i> , 2019) (Vietnã)
<b>Ácidos Fenólicos</b>		
Protocatecuico	0,93 mg/100 g	(LIM <i>et al.</i> , 2010) (Malásia)
p-cumárico	0,79 mg/100 g	
p-hidroxibenzóico	0,72 mg/100 g	
Ácido vanílico	0,71 mg/100 g	
Ácido Siringico	0,70 mg/100 g	
Ácido gálico	0,21 mg/100 g	
Ácido Ferúlico	-	(NGUYEN <i>et al.</i> , 2019) (Vietnã)
Ácido ellagiálico	-	
<b>Flavonoides totais</b>	227,6 ± 11,6 mg QE/g**	(SAENJUM; PATTANANANDECHA; NAKAGAWA, 2021) (Tailândia)
	30,1mg – 42,2 mg QE/100g	(CHEMAH <i>et al.</i> , 2010) (Malasia)
<b>Perfil flavonoides:</b>		
kaempferol 3-rhamnoside	-	(NGUYEN <i>et al.</i> , 2019) (Vietnã)
Rutina	-	
<b>Tocoferol total</b>	407,26 ± 7,90 mg/kg	(LIAOTRAKOON <i>et al.</i> , 2013) (Tailândia)
<b>Perfil Tocoferóis:</b>		
γ-Tocopherol	75.62 ± 2,23 mg/kg	(LIM <i>et al.</i> , 2010) (Malásia)
α-tocoferol	292,94 ± 9,88 mg/kg	
<b>Fitoesteróis</b>		
Campesterol	198 mg/100g	(LIM <i>et al.</i> , 2010) (Malásia)
Stigmasterol	72 mg/100g	
Colesterol	7 mg/100g	
β-sitosterol	548 mg/100g	

Fonte: Elaborado pela autora, (2021) por meio dos autores citados na tabela

Nota: \*GAE - Miligrama equivalente de ácido gálico; \*\*QE - miligrama de quercetina equivalente

O tocoferol está significativamente presente nas sementes de pitaya *H. undatus*, sendo o α-tocoferol o maior representante, chegando a representar 72 % do teor total de tocoferol nessas sementes (LIAOTRAKOON *et al.*, 2013; LIM *et al.*, 2010). Em geral, o α-tocoferol e o γ-tocoferol compreendem mais de 60 % do teor total de vitamina E na maioria dos óleos vegetais (LIM *et al.*, 2010). A vitamina E é um antioxidante natural que pode ser encontrada na maioria dos alimentos derivados de plantas e consiste em muitas formas

estruturalmente relacionadas, mas as principais formas em óleos vegetais são  $\alpha$  e  $\gamma$ -tocoferol. O  $\alpha$ -tocoferol é considerado o antioxidante *in vivo* mais ativo. Além disso, está associado com a redução de risco à doença cardíaca, conferindo benefícios para a saúde. O  $\gamma$ -tocopherol pode apresentar propriedades anti-inflamatórias, reduzir o risco de doenças cardiovasculares e desenvolvimento de câncer (LIAOTRAKOON *et al.*, 2013).

Dentre os esteroides identificados, o  $\beta$ -sitosterol foi o componente funcional de maior representatividade nas sementes *H. undatus*. Os esteroides são importantes constituintes dos óleos porque se relacionam com sua qualidade e são amplamente utilizados para verificar a autenticidade, além de serem interessantes no que se refere a atividade antioxidante e impacto positivo na saúde (LIM *et al.*, 2010).

Em estudo com extratos aquosos e metanólicos de semente de pitaya *H. undatus*, foram observadas a presença de alcaloides, taninos, terpenoides e cumarina, além das saponinas, que foram encontradas somente nos extratos aquosos. Segundo os autores, os alcaloides são metabólitos secundários onde algumas classes são usadas em tratamento contra a doença de Alzheimer; os taninos têm apresentado propriedades antibacterianas, antivirais, anti-inflamatórias e anticancerígenas e as cumarinas têm apresentado propriedades antibacterianas, antifúngicas, antivirais, antioxidantes e anti-inflamatórias (SUSHMITHA *et al.*, 2018).

### 3.4 OUTROS CAMPOS DE ESTUDO

Em outras áreas de interesse, como a agronomia a fitotecnia, avanços científicos sobre as sementes *H. undatus* têm sido realizados. Grande parte das publicações sobre sementes de pitaya de diversas espécies estão focadas nestas áreas de conhecimento. Contudo, as publicações mais recentes (últimos cinco anos) são no campo da ciência de alimentos. Sendo um estudo da arte, trazemos alguns avanços com sementes de pitaya nessas áreas afins.

Vale destacar que estudos com sementes são importantes, uma vez que estas possuem a variabilidade genética para a seleção de características desejáveis em um programa de melhoramento genético, além de possibilitar a investigação científica de fatores que afetam a biologia da germinação. Os estudos com germinação e maturidade fisiológica, por exemplo, são de grande relevância para o desenvolvimento de frutas mais interessantes comercialmente e nutricionalmente.

A partir dessas áreas de interesse, as temperaturas e incidência de luz mais favoráveis para a germinação de *H. undatus* foram estabelecidas. De acordo com Lone *et al.*, 2014a e

Ruths *et al.* (2019), o desempenho fisiológico máximo dessas sementes é alcançado à temperaturas de 25 e 30 °C e em temperatura alternada entre 20-30 °C. Embora as sementes sejam fotoblásticas positivas, a ausência de luz não afeta tanto o processo germinativo, se mostrando capaz de germinar no escuro e em diferentes comprimentos de onda (LONE *et al.*, 2014b; RUTHS *et al.*, 2019). A baixa temperatura afeta negativamente a absorção de água pelas sementes e, conseqüentemente, reduz as reações bioquímicas e fisiológicas, o que afeta a uniformidade e a velocidade de germinação. Em geral, as sementes pequenas não possuem reservas suficientes para sustentar prolongados períodos de crescimento de plântulas no escuro, necessitando de luz para germinação (ALVES; GODOY; CORRÊA, 2011; RUTHS *et al.*, 2019).

Outros fatores além da temperatura e da luz afetam o processo de germinação das sementes. Ortiz *et al.* (2018) observaram que em pH inferior a 4,5 a viabilidade e o vigor das sementes são prejudicados, enquanto uma faixa de pH entre 6,0 e 7,5 foi favorável para o processo de germinação dessas sementes (a 25 °C). Essa faixa de pH costuma favorecer o processo de germinação da maioria das espécies de plantas. De acordo com Ortiz *et al.* (2015), os níveis de pH alteram o tempo médio de germinação, mas a presença de fungicida não favorece a porcentagem de germinação.

Estudos de critérios para a execução de testes de germinação em sementes *H. undatus* foram realizados e indicaram que o substrato mais interessante para ensaios germinação é o rolo de papel (entre rolo de papel, areia, vermiculita e solo), se realizado a temperatura de 25 °C (ALVES; GODOY; CORRÊA, 2011). Enquanto outros ensaios sugerem que o volume de substrato para melhor sobrevivência e desenvolvimento vegetativo de mudas dessas sementes seja recipiente de 65 mL (DE ANDRADE; MARTINS; SILVA, 2008)

Determinar a maturidade fisiológica das sementes é extremamente importante, pois, esse conhecimento facilita o planejamento da colheita e controle de qualidade, além de poder correlacionar com sua composição nutricional. Em estudos com sementes *H. undatus*, Ortiz, Moritz e Takahashi (2015), observaram que as sementes com maturidade fisiológica e, portanto, de alta qualidade, (valores máximos de massa seca, poder germinativo e vigor) foram àquelas obtidas de frutos colhidos entre 28 e 31 dias após antese (abertura floral) (ORTIZ; MORITZ; TAKAHASHI, 2015).

A remoção da mucilagem das sementes também é uma preocupação dos pesquisadores, pois tem influência no processo de germinação e no vigor das sementes de

pitaya. A seleção de métodos para extrair sementes de polpas de frutos carnosos, sobretudo a remoção da mucilagem ao redor dessas sementes, são realizados para garantir a qualidade fisiológica, viabilidade, vigor e sanidade dessas sementes. Dentre os diversos métodos estudados, Lone *et al.* (2021) sugerem que o método de imersão por 2h em solução de HCl 10 % é mais vantajoso por favorecer a obtenção de sementes com alta qualidade fisiológica em um curto período de tempo. Estudos similares conduzidos por Alves; Godoy e Oliveira (2012) sugerem método similar (imersão em solução de HCl 1:2 por 1 hora).



#### 4. CONCLUSÃO

Os estudos evidenciaram que as sementes de pitaya *H. undatus* apresentaram alto rendimento na extração de seus óleos, cujo perfil contém elevados teores de ácidos graxos insaturados, com a presença de óleos essenciais. Isso pode representar um promissor óleo comestível com benefícios nutricionais aos humanos, uma vez que também possui elevados teores de tocoferol e compostos fenólicos. A presença de fenóis, tocoferóis e esteróis, fazem da semente de pitaya, também, uma fonte potencial de antioxidantes naturais.

Contudo, ainda temos um grande caminho a percorrer no que se diz respeito ao conhecimento científico e possíveis aplicações tecnológicas acerca destas sementes. Como visto, o que a literatura nos diz sobre as sementes se limita à caracterização proximal, a estudos de extração e caracterização, especialmente dos seus lipídeos.

## REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, A. *et al.* Supercritical carbon dioxide extraction of red pitaya ( *Hylocereus polyrhizus*) seeds : response surface optimization , fatty acid composition and physicochemical properties. **Malaysian Society of Applied Biology**, v. 47, n. 2, p. 39–46, 2018.
- BRASIL. **Lei nº 10.711, de 05 de agosto de 2003. Dispõe Sobre O Sistema Nacional de Sementes e Mudanças e Dá Outras Providências.** Brasília, DF, 06 ago. 2003. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/2003/110.711.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/110.711.htm). Acesso em: 25 abr. 2019.
- ADNAN, L.; OSMAN, A.; ABDUL HAMID, A. Antioxidant activity of different extracts of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) seed. **International Journal of Food Properties**, v. 14, n. 6, p. 1171–1181, 2011.
- ALTUNA, J. L. *et al.* Yellow pitaya (*hylocereus megalanthus*) fatty acids composition from ecuadorian Amazonia. **Asian Journal of phamerceutical and clinical research**, v. 11, n. 11, p. 218–221, 2018.
- ALVES, C. Z.; GODOY, A. R.; CORRÊA, L. DE S. Adequação da metodologia para o teste de germinação de sementes de pitaia vermelha. **Ciencia Rural**, v. 41, n. 5, p. 779–784, 2011.
- ALVES, C. Z.; GODOY, A. R.; OLIVEIRA, N. C. Efeito da remoção da mucilagem na germinação e vigor de sementes de *Hylocereus undatus* Haw Effect of removal of mucilage in germination and seed vigor of *Hylocereus undatus* Haw. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 4, p. 586–589, 2012.
- ARIFFIN, A. A. *et al.* Essential fatty acids of pitaya (dragon fruit) seed oil. **Food Chemistry**, v. 114, n. 2, p. 561–564, 2009.
- BANERJEE, J. *et al.* Bioactives from fruit processing wastes : Green approaches to valuable chemicals. **Food Chemistry**, v. 225, p. 10–22, 2017.
- BARROZO, M. A. S.; MUJUMDAR, A.; FREIRE, J. T. Air-Drying of Seeds: A Review. **Drying Technology**, v. 32, n. 10, p. 1127–1141, 2014.
- CARVALHO, Nelson Moreira; NAKAGAWA, João. **Sementes: Ciência, Tecnologia e Produção**. 4. Ed. Jaboticabal: Funep, 2000. p. 588
- CHEMAH, T. C. *et al.* Determination of pitaya seeds as a natural antioxidant and source of essential fatty acids. **International Food Research Journal**, v. 17, n. 4, p. 1003–1010, 2010.
- COPELAND, Laerence O.; MCDONALD, Miller B. **Principles of seed science and technology**. 4th ed. Springer Science+Business Media: New York, 2001.
- DA SILVA, A. C.; JORGE, N. Bioactive compounds of the lipid fractions of agro-industrial waste. **Food Research International**, v. 66, p. 493–500, 2014.
- DE ANDRADE, R. A.; MARTINS, A. B. G.; SILVA, M. T. H. Desenvolvimento de mudas

de pitaya vermelha (*Hylocereus undatus* Haw) em diferentes volumes de substrato. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 30, n. 5 SUPPL, p. 697–700, 2008.

GRISALES, Y. T. *et al.* Evaluation of bioactive compounds with functional interest from yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* haw). **Revista Facultad Nacional de Agronomia Medellin**, v. 70, n. 3, p. 8311–8318, 2017.

KERBAUY, Gilberto Barbante. **Fisiologia vegetal**. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

LIAOTRAKOON, W. *et al.* Dragon fruit (*Hylocereus* spp.) seed oils: Their characterization and stability under storage conditions. **JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 90, n. 2, p. 207–215, 2013.

LIM, H. K. *et al.* Chemical composition and DSC thermal properties of two species of *Hylocereus cacti* seed oil: *Hylocereus undatus* and *Hylocereus polyrhizus*. **Food Chemistry**, v. 119, n. 4, p. 1326–1331, 2010.

LONE, A. B. *et al.* Temperatura na germinação de sementes de genótipos de pitaya. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p. 2251–2258, 2014a.

LONE, A. B. *et al.* The effects of light wavelength and intensity on the germination of pitaya seed genotypes. **Australian Journal of Crop Science**, v. 8, n. 11, p. 1475–1480, 2014b.

LONE, A. B. *et al.* Physiological quality of pitaya seeds subjected to different methods of mucilage extraction. **Australian Journal of Crop Science**, v. 15, n. 4, p. 479–483, 2021.

NGUYEN, M. N. P. *et al.* In vitro antioxidant activity and phenolic profiles of tropical fruit by-products. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 54, p. 1169–1178, 2019.

NIZAMLIOĞLU, N. M.; ÜNVER, A.; KADAKAL, Ç. Mineral Content of Pitaya (*Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus*) Seeds Grown in Turkey. **Erwerbs-Obstbau**, v. 63, n. 2, p. 209–213, 2021.

ORTIZ-HERNÁNDEZ, Y. D.; CARRILLO-SALAZAR, J. A. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a short review. **Comunicata Scientiae**, v. 3, n. November, p. 220–237, 2012.

ORTIZ, T. A. *et al.* Effects of the hydrogen potential and fungicid treatment on Pitaya seed germination. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 37, n. 1, p. 69–74, 2015.

ORTIZ, T. A. *et al.* Pitaya genotypes (*Hylocereus* spp.) seed germination at different pH levels based on statistical models. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 08, p. 1200–1204, 2018.

ORTIZ, T. A.; MORITZ, A.; TAKAHASHI, L. S. A. Physiological maturity of pitahaya (*Hylocereus undatus*) seeds and its correlation with fruit equatorial diameter. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, n. 12, p. 1197–1204, 2015.

PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; LABBÉ-BAUDET, L. Secagem de sementes e hortaliças. In: WARLEY, M. N. Embrapa. **Tecnologia de Sementes e Hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, p. 137-151, 2009.

POPINIGIS, Flávio. **Fisiologia da semente**. Ed. 2, Sília: Brasília - DF, 1985

QUEIROGA, V. D. P. *et al.* **Pitahaya (Hylocereus spp.) Sistema produtivo de cactos trepadeiras**. Campina Grande: AREPB, 2021.

RUI, H. *et al.* Extraction and characteristics of seed kernel oil from white pitaya. **Journal of Food Engineering**, v. 93, n. 4, p. 482–486, 2009.

RUTHS, R. *et al.* Influência da temperatura e luminosidade na germinação de sementes das espécies: *Selenicereus setaceus*, *Hylocereus undatus* e *Hylocereus polyrhizus*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 2, p. 194–201, 2019.

SAENJUM, C.; PATTANANANDECHA, T.; NAKAGAWA, K. Antioxidative and anti-inflammatory phytochemicals and related stable paramagnetic species in different parts of dragon fruit. **Molecules**, v. 26, n. 12, 2021.

SAGAR, N. A. *et al.* Fruit and Vegetable Waste: Bioactive Compounds, Their Extraction, and Possible Utilization. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 3, p. 512–531, 2018.

SHEWRYL, Peter R.; CASEY, Rod. **Seed Protein**. Springer Science+Business Media Dordrecht, 1999.

SOUZA, Luiz Antonio de (Org.). **Sementes e Plântulas: Germinação, estrutura e adaptação**. Ponta Grossa: Toda palavra, 2009.

SUSHMITHA, H. S. *et al.* Phytochemical and pharmacological studies on *Hylocereus*. **World Journal of Pharmaceutical Research**, v. 7, n. 14, p. 986–1006, 2018.

TACO. **Tabela brasileira de composição de alimentos / NEPA – UNICAMP**.- 4. ed. rev. e ampl. Campinas: NEPA- UNICAMP, 2011. 161 p

VILLALOBOS-GUTIÉRREZ, M. G. *et al.* Chemical characterization of Central American pitaya (*Hylocereus* sp.) seeds and seed oil. **CYTA - Journal of Food**, v. 10, n. 1, p. 78–83, 2012.

VILLANUEVA-BERMEJO, D. *et al.* Production of omega 3-rich oils from underutilized chia seeds. Comparison between supercritical fluid and pressurized liquid extraction methods. **Food Research International**, v. 115, n. May 2018, p. 400–407, 2019.

ZULKIFLI, S. A. *et al.* Optimization of Total Phenolic and Flavonoid Contents of Defatted Pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) Seed Extract and Its Antioxidant Properties. **Molecules**, v. 25, p. 1–17, 2020.

### CAPÍTULO 3

#### Efeitos dos métodos de separação na cinética de secagem de sementes de pitaya orgânica (*Hylocereus undatus* [Haw.] Britton & Rose)

\*Artigo publicado: SANTANA, F. C. de O.; PANATO, K. ANGONESE, M.; MÜLLER, C. M. O. Effect of separation methods on the drying kinetics of organic pitaya (*Hylocereus undatus* [Haw.] Britton & Rose) seed. **LWT - Food Science and Technology**, v. 153, p. 112353, 2021. O comprovante encontra-se no **Anexo A**.

\*Trabalhos apresentados em eventos e prêmio na categoria melhores trabalhos no III CTOCTA, relativos a este capítulo são disponibilizados nos **Anexos B, C e D**.

## RESUMO

As sementes de pitaya são ricas em proteínas, lipídeos e compostos bioativos. Contudo, sua separação a partir da polpa é um desafio tecnológico. O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito dos métodos da separação semente-polpa na cinética de secagem das sementes. Para isso, três métodos de separação foram avaliados: separação ácida (AS), separação térmica (TS) e separação enzimática (ES). Após a separação, as sementes foram desidratadas a 45 °C e as curvas de cinética de secagem, taxas de secagem e coeficiente efetivo de difusão foram determinados. Todos os tratamentos promoveram a separação entre polpa e semente, entretanto, o tratamento ES promoveu a melhor separação, afetando significativamente o processo de secagem. Os efeitos observados foram o decréscimo do conteúdo de umidade inicial, redução da taxa de secagem em 6 vezes e da difusividade em 2 vezes quando comparados às sementes obtidas por meio do tratamento AS. O período de taxa constante foi responsável por controlar a cinética de secagem e o modelo Semiempírico de Page foi o que melhor se adaptou aos dados experimentais.

**Palavras-chave:** Mucilagem; pectinase; coeficiente de difusão efetivo; taxa constante; métodos de separação; modelagem matemática.

## ABSTRACT

Organic pitaya seeds are rich in protein, lipids and bioactive compounds, but their separation from the pulp is a technological challenge. The objective of this study was to evaluate the effect of the seed-pulp separation method on the seeds' drying process. Three separation methods were evaluated: acid (AS), thermal (ES) and enzymatic (TS). After separation, the seeds were dried at 45°C, and the kinetic curves, the drying rates, and the effective diffusion coefficient were determined. All treatments promoted the separation of the pulp from the seed, however, ES treatment promoted the best separation, which significantly affected the drying process. The observed effects were the decreased of the initial moisture content, reduced the drying rate by 6 times, and the diffusivity by 2 times when compared to the seeds obtained by the AS treatment. The constant rate period seemed to control the drying kinetics, and Page's semi-empirical model best fitted the experimental data.

**Keywords:** Mucilage; pectinase; effective diffusion coefficient; mathematical modeling; separation methods.

## 1. INTRODUÇÃO

A Pitaya é uma super fruta e vem ocupando um importante nicho de mercado de frutas exóticas no Brasil (ORTIZ *et al.*, 2018). Popularmente conhecida como *Dragon fruit*, a pitaya (*Hylocereus undatus*) pertence à família da Cactaceae, sendo nativa do México e América Central e se caracteriza por apresentar casca rosada e polpa branca repleta de pequenas sementes pretas (MERCADO-SILVA, 2018).

A pitaya é uma fruta atraente devido a sua aparência exótica e cores marcantes, como também por suas propriedades bioativas, valor nutricional e alto valor comercial, atraindo o interesse dos produtores, dos consumidores e da indústria de alimentos (HUA *et al.*, 2018). Como resultado, diversos produtos podem ser encontrados nas gôndolas dos supermercados, como sucos, *smoothies*, chás, cervejas, sorvetes, geléias, produtos desidratados e outros.

A separação entre polpa e semente de pitaya pode servir como um propósito para o desenvolvimento de produtos alimentares. No estudo de Angonese (2020), onde o objetivo foi obter polpa de pitaya em pó, a separação das sementes de pitaya foi realizada manualmente, uma vez que o processo desejado era a secagem em leito de espuma e a presença das sementes evitava a formação de espuma na polpa. Essa separação manual caracterizou um grande gargalo no processo. Vale ressaltar, que no mercado de sucos, muitos consumidores não são receptivos a bebidas com a presença de materiais sólidos em suspensão e, portanto, separar as sementes da polpa torna-se uma necessidade.

Além disso, é importante destacar que sementes e cascas podem representar até 40 % do total de resíduos agroindustriais gerados durante o processamento industrial de sucos de frutas e de polpas congeladas a partir da pitaya e outras frutas (MUHAMMAD *et al.*, 2014; NASCIMENTO FILHO; FRANCO, 2015), sendo que o reaproveitamento sustentável deve ser encorajado. Nesse contexto, o estudo de processos de separação semente-polpa permitiria um melhor aproveitamento da polpa e evitaria o descarte das sementes, que podem vir a ter valor agregado. Atualmente, os resíduos de sementes vêm ganhando atenção dos pesquisadores em muitos lugares do planeta. Isso se deve, especialmente, a sua composição nutricional e características bioativas que os tornam importantes matrizes para a extração e obtenção de ingredientes de alto valor agregado (SAGAR *et al.*, 2018; TENORE; NOVELLINO; BASILE, 2012). Além do possível impacto econômico sobre as cadeias agroprodutivas, o reaproveitamento desses resíduos promove a redução de impactos ambientais associados a seu descarte e vai ao encontro da crescente demanda da indústria de alimentos e consumidores por ingredientes funcionais e nutricionais naturalmente presentes



nos alimentos, além de promover o desenvolvimento sustentável (CARACHO; MORALES; FERREIRA, 2015).

As sementes de pitaya correspondem a aproximadamente 5 % da massa total da polpa da fruta fresca (VILLALOBOS-GUTIÉRREZ *et al.*, 2012) e são fontes promissoras de nutrientes e fitoquímicos. Os lipídeos representam 30 % da composição química das sementes, onde 75 % deles são de ácidos graxos insaturados, o que as torna comparável a sementes de linhaça, colza, gergelim e uva (ARIFFIN *et al.*, 2009; RUI *et al.*, 2009; VILLALOBOS-GUTIÉRREZ *et al.*, 2012). Além disso, são ricas em proteínas (~20%), cujo teor é similar ao encontrado em leguminosas. Tocoferóis, flavonoides e esteróis são alguns dos fitoquímicos identificados em extratos de semente de pitaya, o qual tem apresentado atividade antioxidante associada à presença de compostos fenólicos (ARIFFIN *et al.*, 2009; CHEMAH *et al.*, 2010; LIAOTRAKOON *et al.*, 2013; LIM *et al.*, 2010).

Embora tenha havido um crescente interesse em pesquisas com pitaya, no Brasil os estudos sobre o aproveitamento dessas sementes, para fins alimentícios, ainda são escassos. A maioria dos estudos publicados é focada em processos de germinação, morfologia e maturidade fisiológica dessas sementes (LONE, 2014; ORTIZ *et al.*, 2014, 2018; ORTIZ; MORITZ; TAKAHASHI, 2015; RUTHS, 2016). Uma das razões para este cenário pode estar associada ao desafio que é separar as sementes da polpa. A presença de polissacarídeos na polpa e mucilagem em torno das sementes, as mantém aderidas à polpa, exigindo procedimentos específicos para sua separação (ARIFFIN *et al.*, 2009; RAMÍREZ-TRUQUE; ESQUIVEL; CARLE, 2011).

As sementes de pitaya *in natura* são altamente perecíveis, sendo necessária a aplicação de processos que promovam a sua preservação, após serem separadas da polpa. Dentre os processos, destaca-se a secagem, por ser uma operação unitária capaz de reduzir o teor de água e produzir sementes de alta qualidade, prolongando a sua vida de prateleira (FELLOWS, 2006). A redução no teor de umidade e, conseqüente diminuição da atividade de água, previnem processos germinativos, degradação microbiana e físico-química, mantendo assim, a qualidade inicial da semente durante o armazenamento (GARCIA *et al.*, 2004). Dentre os processos de secagem disponíveis, a secagem convectiva é uma opção interessante para a semente de pitaya, pois é amplamente utilizada para preservar as características originais de diversos materiais biológicos e é considerada uma técnica higiênica e de baixo custo (HASSINI *et al.*, 2018). Embora os estudos de cinética de secagem, modelagem matemática e difusidade efetiva sejam essenciais para modelar os processos e determinar

parâmetros utilizados na ampliação de escala, esses estudos aplicados à sementes de pitaya ainda não estão disponíveis na literatura.

Portanto, o objetivo deste capítulo foi avaliar o efeito do método de separação entre polpa e sementes de pitaya orgânica na cinética de secagem, em termos de determinação das taxas de secagem e do coeficiente efetivo de transferência de massa.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. MATERIAL

O ácido cítrico ( $C_6H_8O$ ) da Vetec Química Fina (Rio de Janeiro, Brasil) e o fosfato de sódio dibásico ( $Na_2HPO_4$ ) da Lefan Química Fina (São Paulo, Brasil) utilizados, foram de grau analítico. A enzima Pectinex (Ultra SP-L, atividade declarada de 3.300 unidades de poligalacturonase por grama) foi cedida pela LNF Latino Americana (Rio Grande do Sul, Brasil).

### 2.2. AMOSTRAS

As pitayas orgânicas *Hylocereus undatus* [(Haw.) Britton & Rose] (*H. undatus*) foram doadas pela fazenda Recanto das Pitayas, localizada em Turvo, Santa Catarina (28° 55.117'S, 49° 41.572'O), safra 2017-2018 com coleta entre os meses de fevereiro a abril de 2018.

As pitayas foram recebidas em caixas de papelão com capacidade para cerca de 20 kg após transporte em transportadora comercial. Após o recebimento, em um prazo máximo de 24 horas, as frutas foram lavadas em água corrente e sanitizadas em solução de hipoclorito de sódio (100 ppm) por 15 minutos. Em seguida, as cascas das frutas foram removidas e as polpas foram fracionadas manualmente em cubos de aproximadamente 1cm x 1cm, acondicionadas em embalagens de polietileno e mantidas a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  para posteriores análises. O processo de preparo da amostra pode ser observado no Apêndice A.

Para a realização das análises, as polpas foram previamente descongeladas (*overnight*) em temperatura de refrigeração ( $5^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e fracionadas em uma consistência de pasta, sem causar injúrias às sementes.

### 2.3 PROCESSO DE SEPARAÇÃO DAS SEMENTES

#### 2.3.1 Separação térmica

A polpa ( $250 \pm 20\text{ g}$ ) (triplicata) foi transferida para frascos de vidro *Schott* de 1 litro com tampa e tratadas termicamente em autoclave vertical (Phoenix, Brasil) a  $121\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 15 minutos. Posteriormente, a polpa foi transferida para uma peneira (60 *mesh*) e lavada com água corrente em temperatura de  $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , até que permanecessem somente as sementes na peneira. Por fim, as sementes foram filtradas a vácuo (bomba C55JXHRL-42-5-Emerson,

EUA) para remoção do excesso de água contido na superfície das mesmas, obtendo-se a amostra denominada TS.

### 2.3.2 Separação ácida

Cerca de  $250 \pm 20$  g de polpa (triplicata) foram transferidas para béqueres de 1 litro e adicionado solução 0,2 % (m/v) de ácido cítrico a  $25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ , na proporção 1:2 (polpa:ácido m/m). As polpas foram agitadas com bastão de vidro por 5 minutos, medido o pH e, posteriormente, peneiradas (60 *mesh*). O filtrado contendo ácido cítrico foi recolhido e o processo foi repetido mais uma vez. As sementes foram lavadas em água corrente e filtradas à vácuo (bomba C55JXHRL-42-5-Emerson, EUA) obtendo-se a amostra denominada AS.

### 2.3.3 Separação enzimática

Cerca de  $600 \pm 20$  g de polpa (triplicata) foram transferidas para béquer de 1 litro, adicionado tampão fosfato pH 3,8 ( $0,2 \text{ mol.L}^{-1}$  de fosfato difásico +  $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$  de ácido cítrico) na proporção 3:1 (polpa:tampão - m/v) e a enzima pectinase SP-L na proporção de 1 mL de solução enzimática para cada 1 kg de amostra e determinado o pH. A mistura foi homogeneizada com bastão de vidro e distribuída em três reatores de vidro encamisados ligados a um banho termostaticado (TE-2205-Tecnal, Brazil) a  $51 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Os reatores foram fechados com filme de polietileno e agitados por 45 minutos com auxílio de agitador magnético RO 5 power (IKA, Alemanha). O tempo de agitação foi definido em testes anteriores. Posteriormente, foi realizada a inativação enzimática a  $90 \text{ }^\circ\text{C}$  por 5 minutos (NUR'ALIAA *et al.*, 2008). As sementes foram lavadas em água com auxílio de peneira (60 *mesh*) e filtradas à vácuo (bomba C55JXHRL-42-5-Emersom, EUA), obtendo-se a amostra ES.

As condições de pH e temperatura foram definidas conforme as exigências de atuação da enzima pectinase indicadas pelo fabricante.

Para estudar o efeito da ausência do tampão e/ou da filtração, foram realizados mais dois ensaios de separação enzimática, um sem a filtração a vácuo com tampão (ES<sub>2</sub>) e outra sem filtração a vácuo e sem tampão (ES<sub>3</sub>). Todo o restante do processo seguiu o descrito acima.

## 2.4 TEOR DE SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS (°Brix)

O °Brix (triplicata) foi determinado na polpa de pitaya *in natura* e na polpa após o tratamento ES para obter um parâmetro da ação enzimática. O resultado foi determinado por leitura direta em refratômetro portátil (RSG-100ATC-Grandindex, China), após calibração com água destilada. O resultado final foi expresso pela média aritmética da triplicata, mais ou menos o desvio padrão.

## 2.5 TEOR DE UMIDADE

A umidade das sementes (triplicata), após os processos de separação térmica, ácida e enzimática, foi determinada em estufa a 105 °C, de acordo com AOAC (2005). O resultado final foi expresso pela média aritmética da triplicata, mais ou menos o desvio padrão.

## 2.6 CINÉTICA DE SECAGEM

Após o processo de separação, 30 g  $\pm$  1 g de sementes (triplicata) foram dispostas de modo a não haver aglomeração, mantendo o distanciamento e formando uma monocamada sobre uma superfície de alumínio retangular (7cm x 31cm). Foram secas em secador de convecção (TE-394/2-Tecnal, Brasil), com fluxo de ar aplicado horizontalmente a 0,78 m.s<sup>-1</sup> e temperatura do ar de secagem de 45 °C  $\pm$  1°C.

A redução da massa das sementes, ao longo do processo de secagem, foi acompanhada por pesagens regulares em balança semi-analítica (Mars-AS2000C, Brasil) em intervalos de 10 minutos, com auxílio de temporizador, aumentando o intervalo para 30 minutos no final da secagem. Após cada pesagem, as bandejas foram reposicionadas dentro da estufa para uniformizar a secagem.

A partir dos resultados do decaimento da massa em função do tempo, foi calculada a umidade em base seca (U<sub>bs</sub>) e foram construídas as curvas de cinética de secagem, expressas em U<sub>bs</sub> (ga.gss<sup>-1</sup>) em função do tempo (minutos).

Foram construídos os gráficos de cinética de secagem no período de taxa constante, expressos em umidade em base seca (ga.gss<sup>-1</sup>) por tempo (minutos). O intervalo de tempo foi determinado avaliando desde o início do processo até o tempo que foi possível fazer o ajuste linear, com coeficiente de determinação ( $R^2 \geq 0,98$ ) (SIMÃO *et al.*, 2021). A taxa foi expressa como a média dos coeficientes angulares (m) (ga.gss<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>) do ajuste da reta ( $x = mt + n$ ), onde m e n são parâmetros do modelo.

### 2.6.1 Modelagem com modelos semiempíricos

Para a modelagem, o teor de umidade em base seca das sementes de pitaya foram adimensionalizados, aplicando-se o cálculo de razão de umidade (RU), definido pela expressão matemática da Equação 1. A cada tempo de secagem, um teor de água é correlacionado com o teor de água inicial e o teor de água de equilíbrio, para condições específicas de secagem, desta forma, os modelos semiempíricos (Tabela 1) foram ajustados aos valores de RU em função do tempo de secagem.

$$RU = \frac{X(t) - X_e}{X_0 - X_e} \quad (1)$$

Onde X(t), X<sub>e</sub> e X<sub>0</sub> correspondem à umidade no tempo t, umidade de equilíbrio e umidade inicial (ga.gss<sup>-1</sup>), respectivamente.

Tabela 1 - Modelos matemáticos semiempíricos aplicados ao ajuste dos dados experimentais da secagem convectiva das sementes de pitaya orgânica a 45°C.

Modelos matemáticos	Equação
Lewis, 1921	$RU = \exp(-kt)$
Henderson & Pabis, 1961 (HP)	$RU = a \cdot \exp(-kt)$
Page, 1949	$RU = \exp(-kt^n)$

Fonte: Lewis (1921); Henderson; Pabis (1961); Page (1949)

RU= razão de umidade (adimensional); t= tempo (min.); a, k, e n = parâmetros dos modelos. Os parâmetros a e n são adimensionais, k (constante de secagem) para Lewis e HP é min<sup>-1</sup>; k de Page é min<sup>-n</sup>.

### 2.7 COEFICIENTE DE DIFUSÃO EFETIVO

O coeficiente de difusão efetivo (D<sub>eff</sub>) foi determinado ajustando a solução analítica da lei de difusão de Fick (regime transiente, esférico e fluxo de massa unidirecional no raio) aos dados experimentais das curvas de secagem de sementes de pitaya AS, TS e ES. O modelo matemático é apresentado nas Equações 2 a 5. As considerações relevantes foram: i) raio médio inicial da semente constante ao longo da secagem; ii) D<sub>eff</sub> constante; iii) escoamento uniforme em toda a superfície da esfera e contração volumétrica desprezível.

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{eff} \left( \frac{\partial^2 X}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial X}{\partial r} \right) \quad (2)$$

$$t = 0, X = X_0 \forall r \quad (3)$$

$$r = R, X = X_{eq}, t > 0 \quad (4)$$

$$r = 0, \left. \frac{\partial X}{\partial r} \right|_{r=0} = 0, t > 0 \quad (5)$$

A solução analítica desse modelo, visando calcular a quantidade total de massa difundida, é proposta por Crank (1975) na forma da Equação 6. A determinação de  $D_{eff}$  foi feita otimizando-o na série infinita apresentada pela Equação 6. Os termos foram adicionados, um a um, até a verificação da estabilidade em quatro algarismos significativos - o que foi garantido, para todas as repetições, até o 10º termo. A otimização foi feita com auxílio do *software R studio* (versão 1.2.5033, © 2009-2019 RStudio, Inc.), para cada uma das triplicatas de cada um dos tratamentos aplicados nas sementes.

O raio médio das sementes foi obtido após medidas de largura e comprimento de 100 unidades de sementes frescas, escolhidas aleatoriamente. As medidas foram realizadas com auxílio do *software ImageJ*, cujo valor médio calculado foi de  $1,186 \pm 0,126$  mm.

$$RU = \frac{X(t) - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-\frac{D_{eff} n^2 \pi^2 t}{r^2}\right) \quad (6)$$

Onde: RU = razão de umidade;  $D_{eff}$  = coeficiente de difusão efetivo ( $m^2 s^{-1}$ ); r = raio equivalente (m); n = número de termos; t = tempo (s)

## 2.8 MICROSCOPIA ÓPTICA

Os ensaios de microscopia óptica foram realizados em estereoscópio Leica (MZ216-Leica, Alemanha) com magnificação de 10x e 20x. Foram avaliadas as sementes úmidas (após os processos de separação térmica, ácida e enzimática) e as sementes secas (após o processo de secagem). As sementes foram depositadas, em uma camada fina, em lâminas de vidro e levadas ao estereoscópio para a obtenção das imagens. A captura das imagens foi realizada com câmera digital em programa de captura de imagens Opticom OPTHD 3.7.

## 2.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os valores de °Brix e  $D_{\text{eff}}$  foram submetidos à análise de variância e ao teste de comparação de média de Tukey ( $p \leq 0,05$ ), utilizando o software Statistica®, versão 13.0.

As taxas de secagem no período constante foram avaliadas utilizou-se como critério o ajuste do coeficiente de determinação com  $R^2 \geq 0,98$ . A análise de variância e o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) foram aplicados aos coeficientes angulares (m) da regressão linear.

O tratamento estatístico dos modelos matemáticos e dos modelos semiempíricos foi feito por meio de rotina de ajuste não linear no software Statistica®, versão 13.0. Para estimar a adequação dos ajustes, os testes estatísticos do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), análise dos resíduos pelo cálculo do Erro Quadrático Médio da Raiz (RMSE) e Qui-Quadrado Reduzido ( $\chi^2$ ) foram aplicados (Equações 7 a 9). Os menores valores para RMSE e  $\chi^2$  e maiores valores para  $R^2$  foram selecionados como o critério de avaliação da qualidade do ajuste.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (MR_{pred,i} - \overline{MR})^2}{\sum_{i=1}^n (MR_{exp,i} - \overline{MR})^2} \quad (7)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - z} \quad (8)$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{1/2} \quad (9)$$



Onde  $MR_{exp,i}$  e  $MR_{prev,i}$  são respectivamente os valores experimentais e previstos da razão de umidade para a observação  $i$ ;  $N$  é o número de observações experimentais e  $z$  é o número de parâmetros dos modelos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. SEPARAÇÃO ÁCIDA, TÉRMICA E ENZIMÁTICA

Os valores de pH, °Brix e umidade (base seca) das polpas e sementes de pitaya para os tratamentos AS, TS e ES são apresentados na Tabela 2. A polpa de pitaya *in natura* apresentou pH similar a outros estudos conduzidos com a mesma espécie de pitaya (COSTA *et al.*, 2017; SANTOS *et al.*, 2016). No entanto, para as polpas adicionadas de tampão (polpa-ES) e ácido cítrico (polpa-AS), observou-se uma leve redução nos valores. Essa redução de pH foi importante para favorecer a ação enzimática no tratamento ES e na separação da semente no tratamento AS.

Tabela 2 - Valores de pH, °Brix e umidade para polpa de pitaya fresca, polpa da pitaya após os tratamentos AS, TS e ES e das sementes AS, TS e ES obtidas após separação

Amostras	pH	° Brix (%)	Umidade (ga gss <sup>-1</sup> )
Polpa <i>in natura</i>	4,8 ± 0,3	9,7 ± 0,1 <sup>a</sup>	-
<i>Polpa após os tratamentos:</i>			
Polpa AS	4,1 ± 0,0	-	-
Polpa TS	4,9 ± 0,0	-	-
Polpa ES	3,9 ± 0,0	10,5 ± 0,41 <sup>b</sup>	-
<i>Sementes obtidas após o tratamento e separação:</i>			
AS	-	-	9,43 ± 0,19 <sup>a</sup>
TS	-	-	2,42 ± 0,02 <sup>b</sup>
ES	-	-	0,97 ± 0,02 <sup>c</sup>
<i>Sementes obtidas após o tratamento e secagem:</i>			
AS	-	-	0,13 ± 0,01 <sup>a</sup>
TS	-	-	0,06 ± 0,01 <sup>b</sup>
ES	-	-	0,03 ± 0,00 <sup>c</sup>

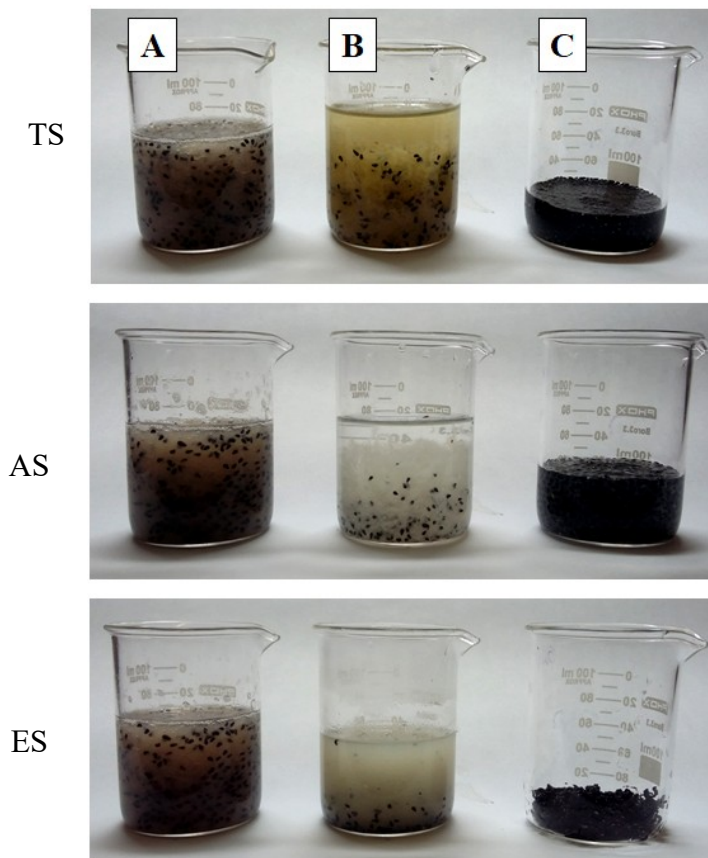
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

AS = separação ácida; TS = separação térmica; ES = separação enzimática.

\*Nota: Valores seguidos de letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05).

Por meio de uma análise subjetiva, as imagens das polpas antes e após os processos de separação foram comparadas. Observaram-se alterações na coloração, bem como, na formação de precipitados de estrutura fibrosa na polpa após a aplicação dos tratamentos (Figura 1).

Figura 1 – Imagens das polpas e sementes de pitaya antes (A) e após (B e C) os processos de separação térmica (TS), ácida (AS) e enzimática (ES).



Fonte: Elaborado pela autora (2020)

\*Nota: A = Polpa de pitaya *in natura*; B = Polpa de pitaya após tratamentos; C = Sementes de pitaya após as separações.

O tratamento térmico promoveu a alteração na cor da polpa de pitaya, que passou a apresentar uma coloração parda (Figura 1–TS/B). Essa mudança foi associada à reação de Maillard, induzida pela temperatura elevada aplicada durante o processo (121 °C). A polpa de pitaya é rica em açúcares redutores como glicose e frutose (WICHICHOT; JATUPORNPIPAT; RASTALL, 2010) e o aumento na temperatura pode ter catalisado a reação entre eles e as proteínas presentes na polpa, causando essa mudança de cor como resultado dos produtos da reação. Por outro lado, tanto em TS quanto em AS (Figura 1-B) observou-se a presença de estruturas fibrosas que se separaram da fase aquosa. Tais estruturas podem ser associadas à presença de pectinas, cujo elevado teor na polpa de pitaya foi reportado por Ramírez-Truque *et al.* (2011). Em AS, a redução do pH pode ter reduzido a repulsão eletrostática entre as moléculas de pectina, facilitando o aumento de regiões de contato e promovendo à precipitação por desidratação (FELLOWS, 2006; GAVA *et al.*,

2008). Em TS, a precipitação pode ter sido favorecida pelo calor aplicado neste tratamento, que pode aumentar a interação hidrofóbica entre as moléculas de pectina, facilitando a formação de uma rede de polissacarídeo.

Em ES as estruturas mucilaginosas, ligadas às sementes, foram removidas por meio da despolimerização dos resíduos de ácido galacturônico por hidrólise enzimática dessas estruturas devido à ação enzimática (Figura 1–ES/A; ES/B) (SCHWEIGGERT *et al.*, 2009). A mucilagem é uma substância polimérica complexa de natureza polissacarídica com estrutura altamente ramificada, onde aproximadamente 50 % delas correspondem a um polissacarídeo semelhante à pectina (LE BELLEC; VAILLANT; IMBERT, 2006). De acordo com estudo de Ramírez-Truque *et al.* (2011), a polpa de pitaya do gênero *Hylocereus sp* apresenta uma composição majoritária em pectinas (~50 %), com 32% de ácido galacturônico e elevado grau de esterificação.

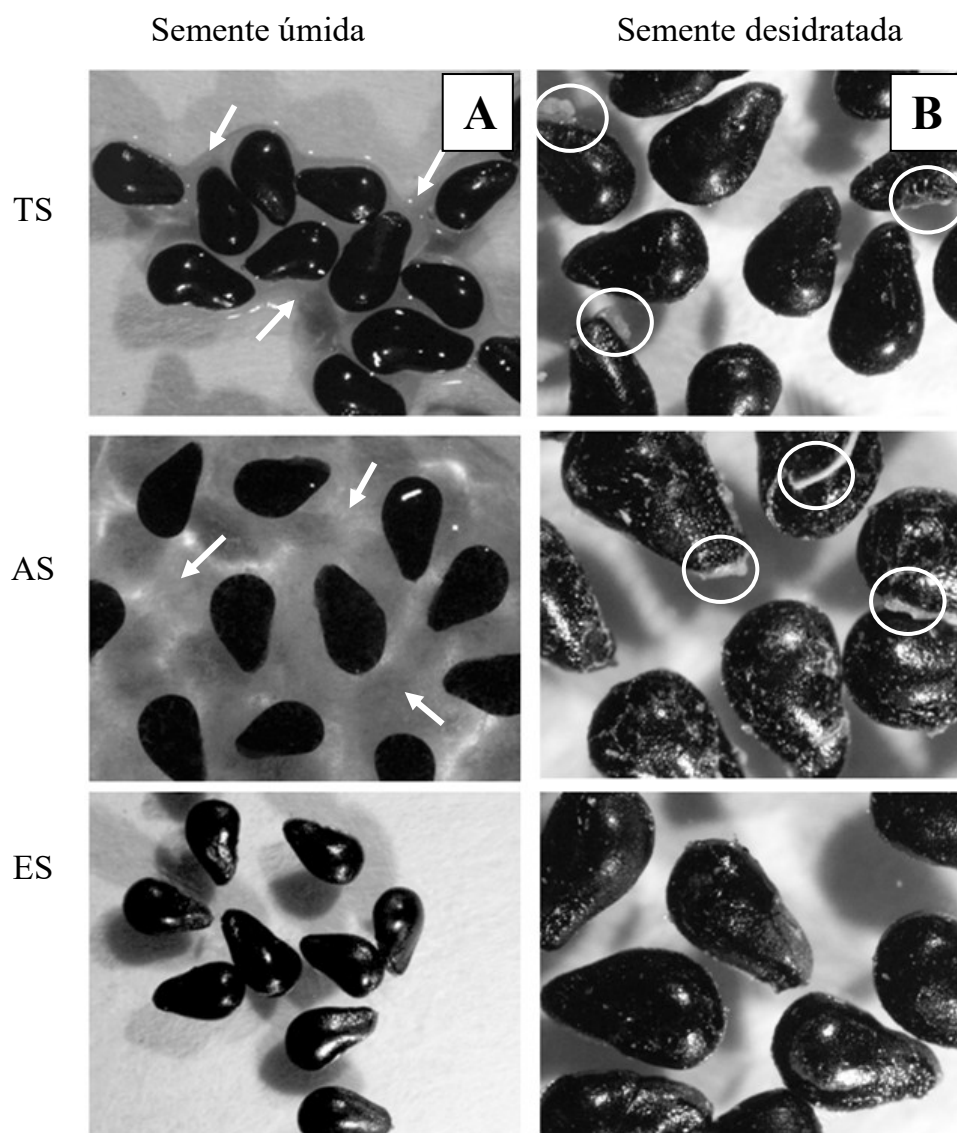
Algumas sementes podem conter, na casca, paredes celulares ricas em pectina, que em contato com a água, são capazes de formar mucilagem, o que propicia a retenção de água e formação de uma capsula viscosa, semelhante à gelatina, que envolve as sementes (BEWLEY, *et al.* 2013; SOUKOULIS; GAIANI; HOFFMANN, 2018). O efeito da ação enzimática nas sementes de pitaya foi confirmado pelo aumento, estaticamente significativo, dos valores do °Brix (Tabela 2), que passou de 9,7 % na polpa *in natura* para 10,5% na polpa após o tratamento enzimático (ES). Isso significou um aumento de 9 % de sólidos solúveis na solução após a ação enzimática. A eficiência do processo de separação enzimática está relacionada ao uso da Pectinex Ultra SP-L que é um produto comercial composto por enzimas poligalacturonase, chamada também de pectina despolimerase ou pectase. São endoenzimas glicohidrolases (EC: 3.2.1.15) que atuam na hidrólise aleatória de (1-4)- $\alpha$ -D-galactosidurônico em pectatos e outros galacturonanos, atuando, portanto, mais especificamente na despolimerização de estruturas pécticas (UNIPROT, 2019).

O tratamento enzimático utilizando pectinase é uma forma efetiva de reduzir a concentração de pectina nas polpas, sendo amplamente aplicado na indústria de sucos para auxiliar na separação entre o suco e as células da fruta, bem como, para clarificar o suco pela remoção das pectinas e amidos naturalmente presentes. As enzimas têm a habilidade de hidrolisar estes polissacarídeos e formar complexos com proteínas que floculam em meio aquoso, além de reduzir a viscosidade do meio, tendo agido de forma eficiente no processo de separação semente-polpa (NUR'ALIAA *et al.*, 2008; NUR'ALIAA; SITI MAZLINA; TAIP, 2011; SCHWEIGGERT *et al.*, 2009).

Em sementes, a remoção da mucilagem é um desafio tecnológico, geralmente objetivando a melhoria do processo de germinação. Entretanto, em muitos destes estudos, as técnicas de separação utilizadas não são adequadas quando se deseja, posteriormente, consumir as sementes ou utilizá-las como ingredientes em produtos alimentícios (AGUIAR *et al.*, 2014; ALVES; GODOY; OLIVEIRA, 2012; BEZERRA *et al.*, 2015). Uma alternativa consiste na utilização de extratores de suco para promover a separação (NUR'ALIAA *et al.*, 2008; NUR'ALIAA; SITI MAZLINA; TAIP, 2011), no entanto, esse processo pode causar a quebra das sementes. Isso sugere que o tratamento enzimático, aplicado nesse estudo, além de promover uma boa separação entre polpa-semente, pode também ser uma ferramenta tecnológica importante na produção de sucos de pitaya, aumentando seu rendimento.

Os teores de umidade das sementes de pitaya AS, TS e ES após o tratamento (Tabela 2), indicaram diferenças significativas após o processo de separação, sendo especialmente maiores nas sementes AS. Esse elevado teor de umidade em AS, se deve a presença de água remanescente, especialmente retida pelo material mucilaginoso que não foi removido da superfície dessas sementes, conforme demonstrou os ensaios de microscopia óptica, indicados pelas setas (Figura 2-A/AS; A/TS). A presença desses polissacarídeos, altamente hidratados e aderidos à superfície, foi responsável por dificultar a separação entre as sementes e a polpa de pitaya (RAMÍREZ-TRUQUE *et al.*, 2011), contribuindo, assim, com a retenção de água e formando uma cápsula mucilaginosa nessas sementes (MUÑOZ *et al.*, 2012). Essa estrutura gelatinosa, mesmo após a secagem, permaneceu como um filme, que foi possível observar na superfície das sementes AS e TS (Figura 2- B/AS; B/TS), conforme indicado pelos círculos.

Figura 2 – Microscopia óptica das sementes de pitaya com magnificação de 10x (A- semente úmida) e 20x (B- semente desidratada) após processo de separação térmico, ácido e enzimático



Fonte: Elaborado pela autora (2020)

\*Nota – Os círculos indicam a presença de material mucilaginoso e as setas indicam a presença de água.

Nas sementes ES, não foi observada a presença de água remanescente em torno das sementes (Figura 2-A/ES) bem como, estruturas mucilaginosas aderidas às sementes após a secagem (Figura 2-B/ES). A hidrólise das estruturas pécnicas, pela ação enzimática, conferiu às sementes ES um menor teor de umidade após o processo de separação. Esse comportamento demonstrou a influência da mucilagem quanto a presença de água na superfície dessas sementes.

### 3.2. CINÉTICA DE SECAGEM, MODELAGEM SEMI-EMPÍRICA E COEFICIENTE DE DIFUSÃO EFETIVO

As triplicatas das curvas de cinética de secagem das sementes de pitaya, para os diferentes métodos de separação (AS, TS e ES), são apresentadas na Figura 3. Devido a diferença na umidade inicial das sementes em função da metodologia de separação aplicada e para se obter uma melhor visualização do comportamento das curvas, a escala no eixo das ordenadas (y) não foi mantida fixa.

A sobreposição nas curvas de cinética de secagem indicou boa reprodutibilidade dos experimentos. Observou-se também, que para todos os tratamentos, as curvas de secagem apresentaram comportamento característico, com a perda da massa ao longo do tempo até atingirem um valor assintótico, alcançando valores de umidade final de 0,13 ga.gss<sup>-1</sup>, 0,06 ga.gss<sup>-1</sup> e 0,03 ga.gss<sup>-1</sup> para AS, TS e ES, respectivamente, em um tempo de 180 minutos (Tabela 2). As sementes ES apresentaram teores de umidade final estatisticamente inferior aos demais tratamentos, corroborando com os ensaios de microscopia (Figura 2), que indicaram a ausência de estruturas mucilaginosas e, conseqüentemente sementes menos hidratadas.

Por meio dos gráficos de taxa de secagem (Figura 4), dois períodos de taxa de secagem foram observados para as sementes de pitaya em todos os tratamentos. O primeiro período refere-se à taxa constante (Figura 4 – pontos B-C) e o segundo refere-se à taxa decrescente (Figura 4 – pontos A-B). A primeira etapa ocorre no início da secagem, quando as sementes apresentam maior umidade em base seca (Tabela 2) enquanto, a segunda, ocorre após uma inflexão da curva, onde há uma diminuição na velocidade de evaporação pela redução da umidade na superfície das sementes. Após a ocorrência do ponto de inflexão, as curvas atingem uma umidade crítica que, posteriormente, tendem a um valor assintótico correspondendo à umidade de equilíbrio ( $X_e$ ), considerada o fim da secagem (GEANKOPLIS, 1998). Isso indica que durante o processo de secagem das sementes de pitaya, a transferência de massa ocorre por mecanismos convectivos e difusionais. Comportamento similar foi relatado para sementes de papaia (CHIELLE *et al.*, 2016). No entanto, em sementes de laranja e sementes de opuntia, esta última da mesma família da pitaya, não se observou o período de taxa constante, sendo o processo de secagem controlado pelo o período de taxa decrescente (HASSINI *et al.*, 2018; ROSA *et al.*, 2015). Isso demonstra que os fatores intrínsecos do alimento, especialmente sua composição química, processos aos quais foram submetidas e teor de umidade, também interferem nas curvas de secagem, afetando o período de taxa decrescente.

Figura 3 – Curvas da cinética de secagem a 45 °C das sementes de pitaya orgânica (*H. undatus*) após separação térmica (TS), ácida (AS) e enzimática (ES).

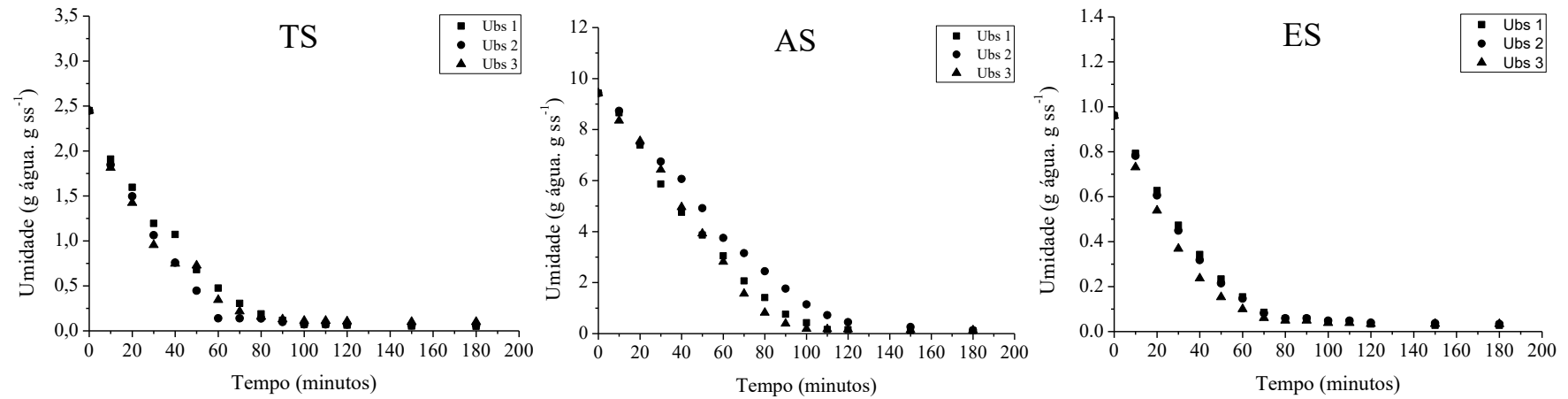
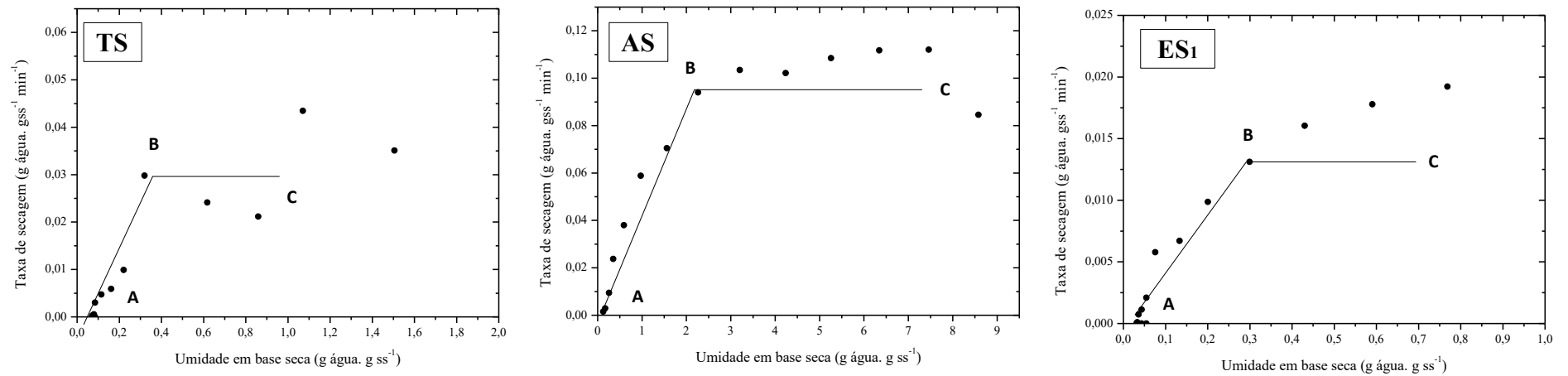


Figura 4 – Taxas médias de secagem das sementes de pitaya orgânica (*H. undatus*) após separação térmica (TS), ácida (AS) e enzimática (ES)



Fonte: Elaborado pela autora (2020)



Determinar a região onde se encontra a umidade crítica na curva de secagem é de grande importância, pois assim, pode-se prever o início da região de taxa decrescente. Na taxa decrescente a transferência de massa diminui devido à menor quantidade de água livre disponível na superfície do alimento. Além disso, a água restante no interior da matriz necessita de maior energia para sua evaporação ocorrendo, conseqüentemente, uma menor taxa de transferência de massa. É nessa fase que ocorrem as maiores modificações na estrutura do alimento, pois a água precisa migrar do interior para a superfície do sólido, o que acarreta no aumento da temperatura do sólido até atingir a temperatura de bulbo seco do ar de secagem. Essa difusão da água, por meio dos materiais sólidos, depende da natureza física do alimento, da temperatura e do teor de umidade (FELLOWS, 2006).

Na etapa de taxa constante, para materiais não porosos, a água disponível na superfície está disposta como uma camada contínua, fazendo com que a velocidade de evaporação seja independente do sólido (GEANKOPLIS, 1998). Isso faz com que a secagem ocorra em velocidade constante e as transferências de massa e calor sejam equivalentes, fazendo com que a quantidade de água removida, por unidade de tempo (taxa), apresente um comportamento linear (FELLOWS, 2006). Os gráficos do ajuste linear da taxa no período constante de secagem para as sementes de pitaya AS, TS e ES, juntamente com os valores dos coeficientes angulares ( $m$ ) e os valores de  $R^2$ , podem ser observados na Figura 5.

Os gráficos de ajuste linear da taxa constante indicaram que a duração do período de taxa constante foi próxima de 50, 60 e 90 minutos para as sementes ES, TS e AS, respectivamente. Isso significa que as sementes ES e TS iniciam o período de taxa decrescente mais rapidamente do que as sementes AS. A perda de água aproximada nas sementes de pitaya, nesse período, foi de 1,0 para 0,20  $\text{ga.gss}^{-1}$  em ES (80 %), de 2,5 para 0,32  $\text{ga.gss}^{-1}$  em TS (87 %) e de 9,4 para 0,97  $\text{ga.gss}^{-1}$  em AS (90%) (Figura 3). Os limites inferiores podem ser considerados os valores aproximados do teor de umidade crítica das sementes em relação às condições estudadas. Esse período é caracterizado pela redução constante no teor de umidade com o tempo de secagem, sendo controlado pelo estado de saturação da superfície do sólido, uma vez que o movimento da água dentro da matriz para a superfície ocorre na mesma taxa de evaporação superficial. Assim, quando a água superficial é eliminada, a taxa de secagem torna-se decrescente, prevalecendo a difusão dos processos de transferência de massa (DIÇER; CALIN, 2016).

Nas sementes AS, o período de taxa constante foi prolongado, provavelmente, devido a presença de mucilagem e do conteúdo de umidade elevado na superfície dessas

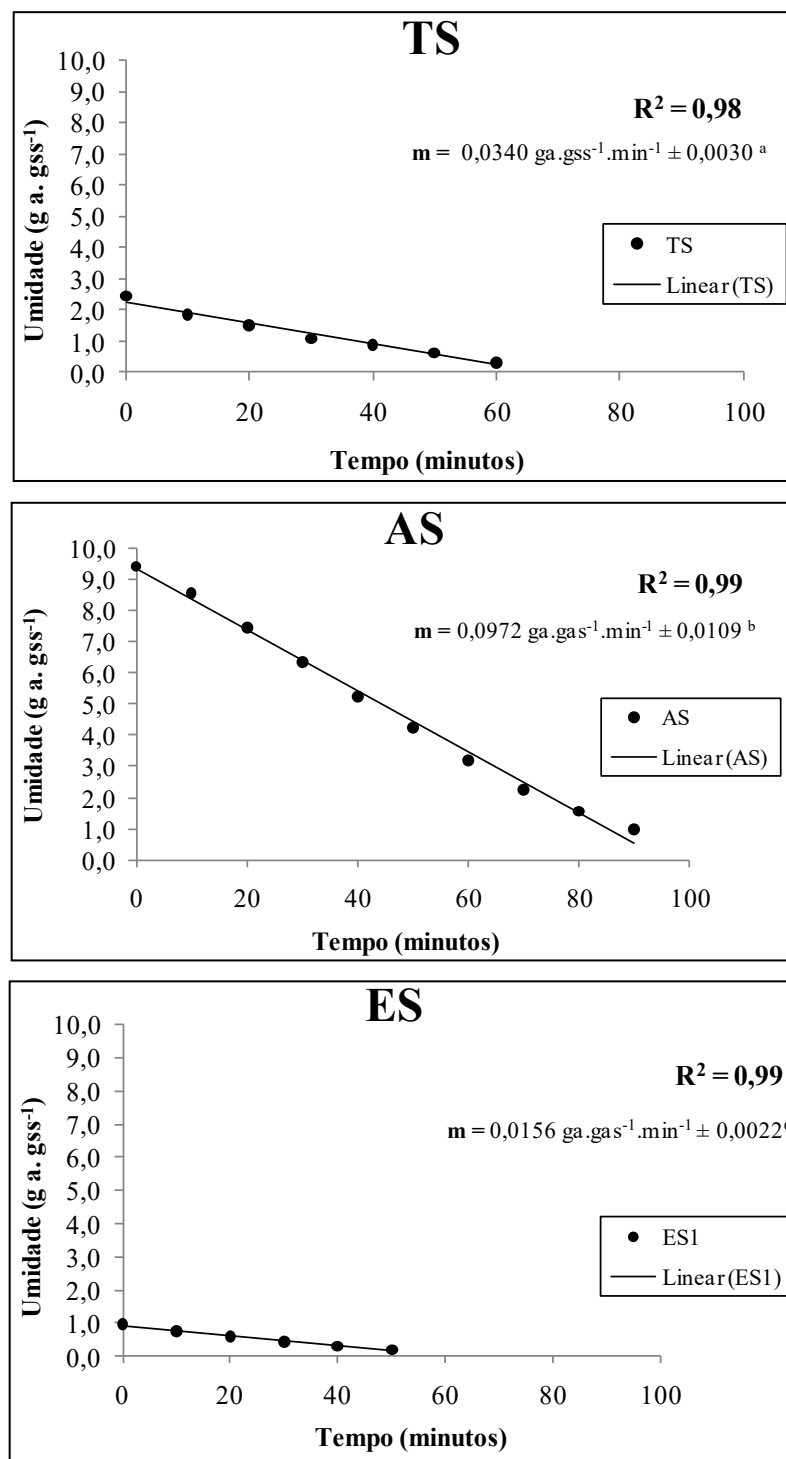
sementes (CHIELLE *et al.*, 2016). O mecanismo de transferência de massas por convecção foi relevante na secagem das sementes de pitaya, uma vez que pelo menos 80 % do conteúdo inicial de água foram removidos neste estágio da secagem, em todos os tratamentos. Este comportamento é muito interessante, uma vez que nesse período, a temperatura da superfície da semente corresponde à temperatura de bulbo úmido do ar de secagem, o que pode reduzir processos de degradação de compostos termosensíveis presentes nas sementes.

Embora o período de taxa constante seja mais curto para sementes ES, estas apresentaram o coeficiente angular ( $m$ ) estatisticamente inferior ( $0,0156 \text{ ga.gss}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ) ao de AS ( $0,0972 \text{ ga.gss}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ) e TS ( $0,0340 \text{ ga.gss}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ) (Figura 5), indicando menor taxa de secagem. Esse resultado corrobora com a menor perda de massa nessas sementes, observado nesse período de secagem. Diversos fatores podem influenciar a taxa de secagem, dentre elas destacamos o teor inicial de água (GARCIA *et al.*, 2004) que nas sementes ES foi duas vezes e nove vezes inferior ao observado nas sementes TS e AS respectivamente.

O ajuste linear para o período de taxa constante pode ser uma ferramenta importante para auxiliar na determinação da umidade crítica do alimento sólido. Isso porque esse valor é alcançado quando as curvas de secagem convergem e atingem uma assíntota, passando em seguida para o período de taxa decrescente (GEANKOPLIS, 1998; FELLOWS, 2006).

Após o período de taxa constante, a taxa de secagem começa a decrescer e a umidade de equilíbrio das sementes atinge assintoticamente as umidades de equilíbrio com o ar de secagem. Para as sementes ES, a umidade de equilíbrio foi alcançada no tempo aproximado de 100 minutos, enquanto que para TS e AS o tempo de 120 e 150 minutos foi necessário, respectivamente. Esse comportamento demonstra que, embora as sementes ES tenham menor taxa de secagem, elas atingem a taxa decrescente e o fim da secagem mais rapidamente que TS e AS, devido à menor umidade inicial e ausência de mucilagem. Tempos de secagem similares foram observados para sementes de laranja (144 minutos a  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  e 120 minutos a  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ ) (ROSA *et al.*, 2015) e tempos maiores para sementes de papaia (540 minutos a  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ) (CHIELLE *et al.*, 2016). Os tempos de secagem de outras sementes são de difícil comparação devido às diferenças nas condições de secagem, como temperatura e velocidade do ar e as características físico-químicas do alimento, que interferem na taxa de secagem.

Figura 5 – Gráficos do ajuste linear da cinética de secagem no período de taxa constante a 45 °C, das sementes de pitaya orgânica (*H. undatus*) obtidos nos tratamentos TS, AS e ES.



Fonte: Elaborado pela autora (2020)

No Brasil não há uma legislação específica que determine o teor de umidade para armazenamento de sementes desidratadas de frutas. Contudo, para outros grãos, as Instruções Normativas nº 11/2007, nº 08/2008, nº 6/2009 e nº 60/2011 estabelecem o Regulamento

Técnico para soja, feijão, arroz beneficiado e milho, respectivamente. Elas determinam que o teor de umidade final para comercialização desses grãos não exceda 14 % (MAPA, 2007; 2008; 2009; 2011). Se esse teor de umidade final fosse estabelecido para as sementes de pitaya desidratadas os tempos de secagem necessários para as sementes AS, TS e ES atingirem essa umidade seriam de 110, 80 e 60 minutos, respectivamente.

Os dados experimentais da cinética de secagem foram usados para prever o comportamento da secagem de sementes de pitaya, aplicando-se os modelos semiempíricos de Henderson & Pabis (HP), Lewis e Page (Figuras 6 e 7). Os parâmetros estatísticos para avaliar o desempenho do ajuste dos modelos:  $R^2$ , RMSE e  $\chi^2$ , bem como, os valores dos parâmetros de secagem  $k$ ,  $a$  e  $n$  são apresentados na Tabela 3.

Todos os modelos testados apresentaram ajustes satisfatórios aos dados experimentais de secagem para TS, AS e ES, apresentando  $R^2 > 0,9$ ,  $RMSE < 0,07$  e  $\chi^2 < 0,006$ , sendo adequados para descrever as curvas cinéticas de secagem de sementes de pitaya (*H. undatus*) a 45 °C, dentro das condições estudadas. O mesmo foi observado em sementes de opuntia (HASSINI *et al.*, 2018) e em sementes de uva (ROBERTS; KIDD; PADILLA-ZAKOUR, 2008).

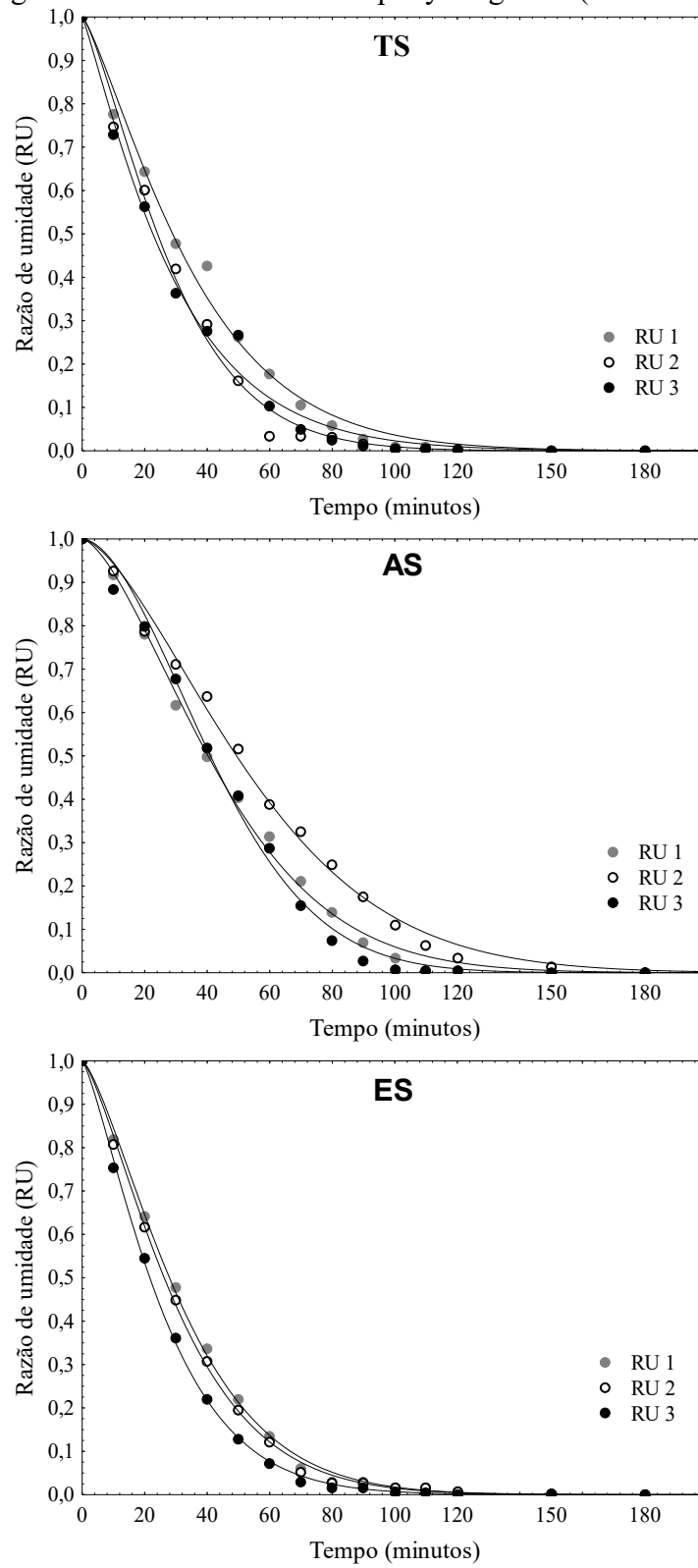
No presente estudo, o modelo de Page (Figura 6) foi considerado o melhor para estimar as curvas de cinética de secagem das sementes de pitaya (*H. undatus*), uma vez que apresentou os maiores valores de  $R^2$  e os menores valores de  $\chi^2$  e RMSE para todos os tratamentos. Além disso, os gráficos de resíduos (Figura 7) apontaram maior aleatoriedade dos valores preditos pelo modelo em função dos valores residuais, em uma faixa horizontal em torno do zero. Na Tabela 4 estão descritas as equações deste modelo para a cinética de secagem das sementes de pitaya. Os demais gráficos dos ajustes dos modelos de HP e Lewis, bem como, os gráficos de resíduos para esses modelos, para as sementes AS e TS podem ser observados nos Apêndices B, C e D do capítulo 3.

Modelos semiempíricos têm sido aplicados à diferentes sistemas, como em sementes de uva, onde o modelo de Lewis foi mais adequado (ROBERTS; KIDD; PADILLA-ZAKOUR, 2008), em sementes de laranja, cujo melhor modelo foi o de Henderson & Pabis (ROSA *et al.*, 2015) e em sementes de opuntia, onde o modelo de Midilli foi o que apresentou melhor ajuste (HASSINI *et al.*, 2018).

Os valores do parâmetro  $k$  no modelo de Page foram similares para TS e ES, porém menores para AS (Tabela 3). O parâmetro  $k$  representa a constante de secagem, sendo influenciado pela temperatura do ar de secagem e dos mecanismos de difusão da água ou

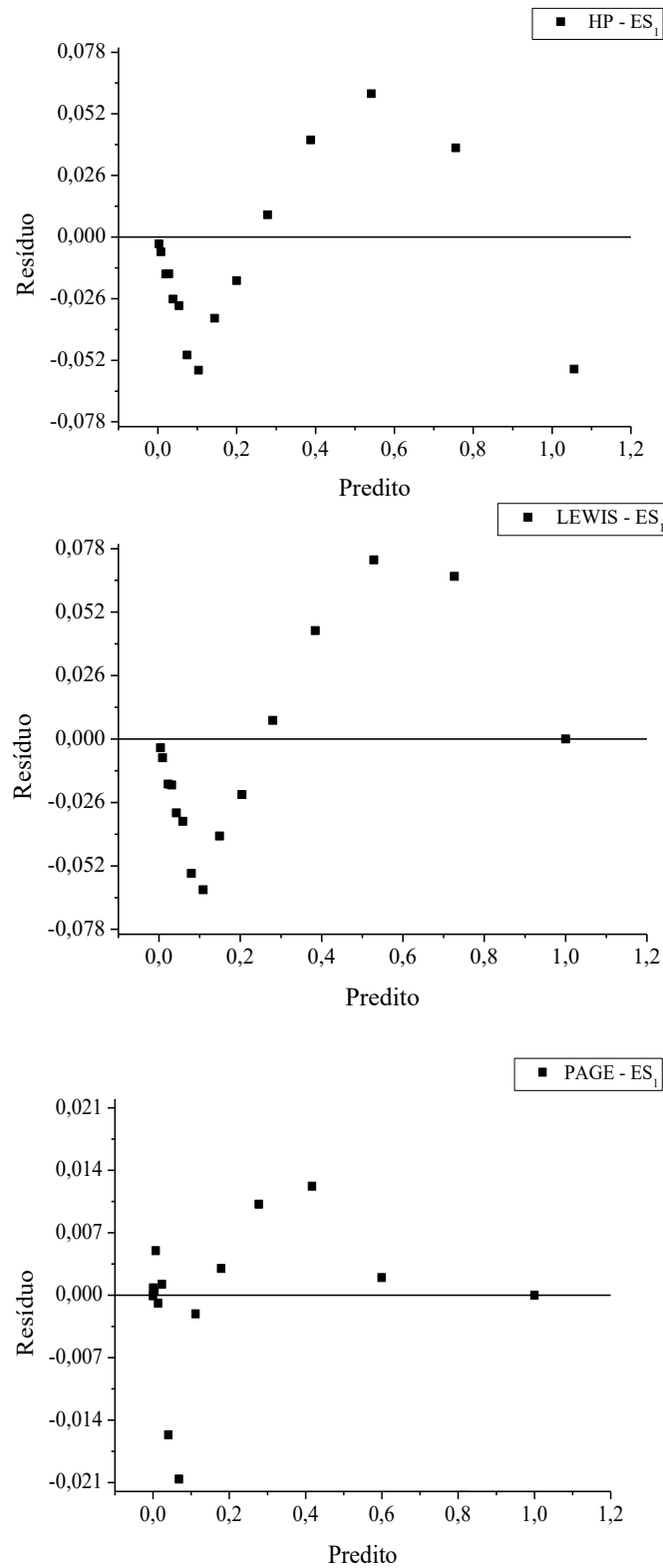
vapor de água no interior das sementes (CARLESSO *et al.*, 2007). Assim, essa constante está relacionada à difusividade efetiva no processo de secagem, no período de taxa decrescente (FERREIRA JUNIOR *et al.*, 2021), que foi menor para as sementes por AS, em comparação com as sementes por TS e ES, como será apresentado na sequência.

Figura 6 - Ajuste do modelo semiempírico de Page aos dados experimentais dos ensaios de cinética de secagem a 45°C das sementes de pitaya orgânica (*H. undatus*) TS, AS e ES



Fonte: Elaborado pela autora (2020)

Figura 7 – Gráficos dos resíduos dos ajustes dos modelos semiempíricos de HP, Lewis e Page para as curvas de cinética de secagem das sementes de pitaya orgânica por separação enzimática (ES)



Fonte: Elaborado pela autora (2020)

Tabela 3 – Parâmetros do ajuste dos modelos semiempíricos aplicados aos dados experimentais das cinéticas de secagem das sementes de pitaya orgânica (*H. undatus*) TS, AS e ES com os respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e a análise dos resíduos (RMSE e  $x^2$ )

		Parâmetros dos modelos*					
Tratamentos	Modelos	k	a	n	R <sup>2</sup>	RMSE	X <sup>2</sup>
AS	Lewis	0,0194	-	-	0,974	0,0756	0,0061
	HP	0,0213	1,1074	-	0,980	0,0655	0,0049
	Page	0,0016	-	1,6252	0,998	0,0185	0,0004
		Parâmetros dos modelos					
	Modelos	k	a	n	R <sup>2</sup>	RMSE	X <sup>2</sup>
TS	Lewis	0,0312	-	-	0,991	0,0366	0,0014
	HP	0,0322	1,0354	-	0,992	0,0349	0,0014
	Page	0,0132	-	1,2464	0,996	0,0225	0,0006
		Parâmetros dos modelos					
	Modelos	k	a	n	R <sup>2</sup>	RMSE	X <sup>2</sup>
ES	Lewis	0,0320	-	-	0,991	0,0397	0,0017
	HP	0,0335	1,0557	-	0,993	0,0357	0,0015
	Page	0,0096	-	1,3371	0,999	0,0099	0,0001

Fonte: Elaborado pela autora(2020)

Nota: \*Coeficientes dos ajustes dos modelos matemáticos:  $a$  e  $n$  são adimensionais; constante  $k$  em Lewis e HP é  $\text{min}^{-1}$  e em Page é  $\text{min}^{-n}$ .

Tabela 4 – Equações de cinética de secagem do ajuste de Page para as sementes de pitaya orgânica (*H. undatus*)

Tratamentos	Equação [ $RU = \exp(-kt^n)$ ]
AS	$RU = e^{-0,0016t^{1,6252}}$
TS	$RU = e^{-0,0132t^{1,2464}}$
ES	$RU = e^{-0,0096t^{1,3371}}$

Fonte: Elaborado pela autora (2020)



A segunda Lei de Fick tem sido amplamente utilizada para descrever o processo de secagem durante o período de taxa decrescente em uma gama de materiais biológicos (DA SILVA *et al.*, 2017; FERREIRA JUNIOR *et al.*, 2021; REIS *et al.*, 2011; ROSA *et al.*, 2015; SAAVEDRA *et al.*, 2017) onde a transferência de umidade é controlada pela difusão interna no material sólido (ROBERTS; KIDD; PADILLA-ZAKOUR, 2008).

O Coeficiente de difusão efetivo ( $D_{\text{eff}}$ ), para as sementes de pitaya, nos tratamentos AS, TS e ES, considerando um raio equivalente de 1,186 mm, apresentou magnitudes de  $2,80 \times 10^{-11}$ ;  $4,84 \times 10^{-11}$  e  $4,97 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ , respectivamente. As difusibilidades descritas na literatura são de difícil comparação devido aos diferentes métodos de secagem, modelos empregados na sua estimativa, bem como, variação na composição dos alimentos e na sua estrutura física. Contudo, valores do  $D_{\text{eff}}$  da mesma ordem de grandeza foram reportados para sementes de tamarindo ( $2,04 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) e sementes de níger ( $2,33 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) (DA SILVA *et al.*, 2017; FERREIRA JUNIOR *et al.*, 2021). Os valores  $D_{\text{eff}}$  para sementes de pitaya são consistentes com o reportado na literatura para a secagem de produtos agrícolas, cuja magnitude está na ordem entre  $10^{-9}$  a  $10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  (MADAMBA; DRISCOLL; BUCKLE, 1996).

$D_{\text{eff}}$  foi estatisticamente menor nas sementes AS, uma vez que foi duas vezes menor em comparação com as sementes TS e ES, que não apresentaram diferenças estatísticas entre si. O coeficiente de difusão é afetado pela temperatura, aumentando com o aumento da mesma (FERREIRA JUNIOR *et al.*, 2021; ROBERTS; KIDD; PADILLA-ZAKOUR, 2008; ROSA *et al.*, 2015). Contudo, nesse estudo, as condições de secagem foram mantidas constantes para todas as sementes de pitaya, entre elas a temperatura. Sendo assim, o valor inferior de  $D_{\text{eff}}$ , observado nas sementes AS, pode estar associado a fatores intrínsecos dessas sementes, especialmente devido a presença de mucilagem que pode ter reduzido sua permeabilidade, interferindo na mobilidade da água no interior da semente durante o processo de secagem.

### 3.3 SEPARAÇÃO ENZIMÁTICA (ES, ES<sub>2</sub> e ES<sub>3</sub>)

Os estudos de cinética de secagem das sementes de pitaya evidenciaram que o tratamento enzimático foi o mais eficiente para a remoção da polpa/mucilagem e da água presentes nessas sementes. Sendo assim, as sementes ES apresentaram o menor teor de umidade inicial após o processo de separação, menor tempo de secagem e menor umidade

final (3%), quando comparadas aos tratamentos ácido (AS) e térmico (TS), conforme discutido anteriormente.

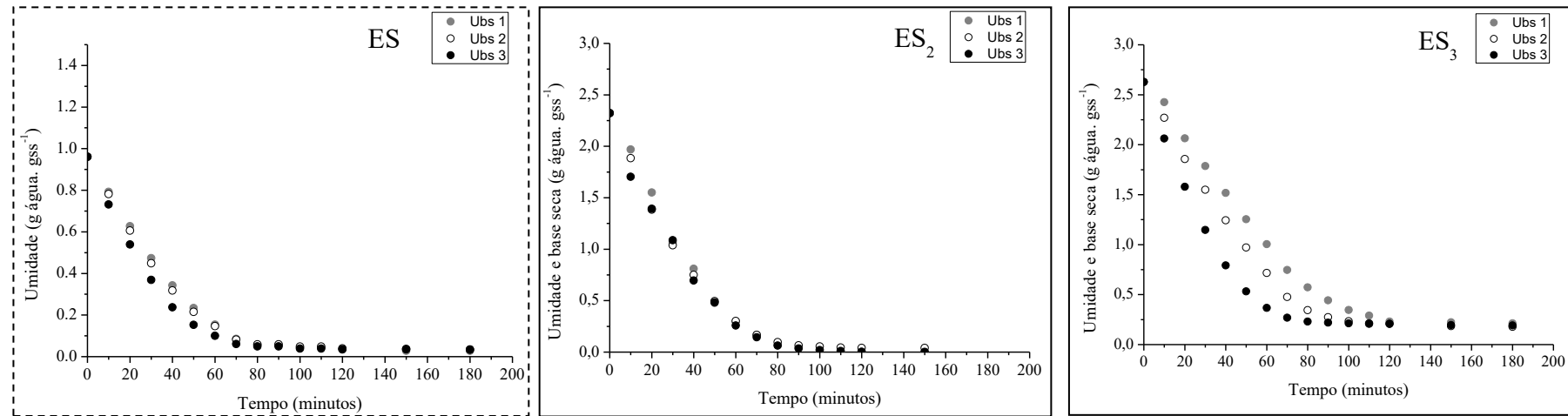
Para avaliar melhor o processo, a separação enzimática foi novamente estudada modificando algumas etapas do procedimento experimental utilizado na obtenção das sementes ES. No primeiro processo de separação utilizou-se tampão, mas não foi aplicada a filtração à vácuo, obtendo-se a amostra intitulada de ES<sub>2</sub>. No segundo processo, a separação enzimática foi conduzida sem tampão e sem filtragem à vácuo, obtendo-se a amostra intitulada de ES<sub>3</sub>. As sementes obtidas por estes processos de separação foram secas e realizaram-se as cinéticas de secagem, que foram comparadas aos resultados de ES.

Os valores de umidade inicial (b.u) das sementes, após os tratamentos enzimáticos, foram de 49,3% (ES), 69,3 % (ES<sub>2</sub>) e 72,4 % (ES<sub>3</sub>). A umidade inicial das amostras ES<sub>2</sub> e ES<sub>3</sub> não apresentaram diferenças significativas entre si ( $p \leq 0,05$ ). Isso sugere que a utilização de tampão não afeta o processo de separação de maneira a modificar a umidade inicial das sementes após separação enzimática. A polpa de pitaya possui um pH que está dentro da faixa de ação da enzima (3,4 a 4,5) o que permitiu a hidrólise dos polissacarídeos mesmo sem a manutenção do pH ótimo de atuação (uso de tampão).

As sementes obtidas pelo processo de separação ES apresentaram teores de umidade inicial estatisticamente inferior às sementes ES<sub>2</sub> e ES<sub>3</sub>. Isso demonstrou que o uso da etapa de filtração causou impactos na umidade das sementes obtidas após o processo de separação enzimática. A filtração foi um procedimento capaz de remover a água superficial contida na superfície dessas sementes que não foram eliminadas durante o peneiramento e, assim, torna-se um procedimento importante, uma vez que impactará na cinética de secagem dessas sementes.

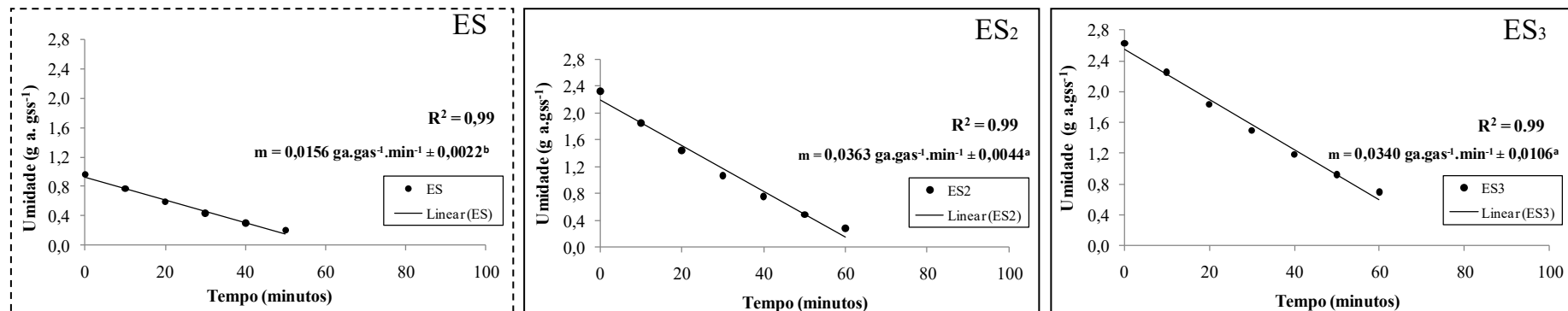
Na Figuras 8 e 9 são apresentadas as curvas de cinética de secagem e os gráficos de ajuste linear do período de taxa constante, respectivamente, das sementes de pitaya após os processos de separação enzimática ES, ES<sub>2</sub> e ES<sub>3</sub>

Figura 8 – Curvas das cinéticas de secagem a 45 °C das sementes de pitaya orgânica (*H. undatus*) após separações enzimáticas ES, ES<sub>2</sub> e ES<sub>3</sub>



Fonte: Elaborado pela autora (2020)

Figura 9 - Gráficos do ajuste linear das taxas no período constante das cinéticas de secagem a 45 °C das sementes de pitaya orgânica (*H. undatus*) por separação enzimática (ES, ES<sub>2</sub> e ES<sub>3</sub>)



Fonte: Elaborado pela autora (2020)

\*Os gráficos destacados com a borda pontilhada foram apresentados nas Figuras 3 e 5.

Assim como nos demais tratamentos, a cinética de secagem para as sementes de pitaya para as três separações enzimáticas apresentaram comportamento similar, com curvas apresentando os períodos de taxa constante e a taxa decrescente (Figura 8), onde se observa a perda de massa com o tempo de secagem.

O ajuste linear das taxas de secagem na fase constante indicou que o tempo de secagem nesse período foi um pouco superior para ES<sub>2</sub> e ES<sub>3</sub> (60 minutos) quando comparado a ES (50 minutos), sugerindo que a umidade crítica da cinética de secagem é atingida antes para as sementes ES. O coeficiente linear (m) do ajuste da fase constante não apresentou diferença estatística ( $p \leq 0,05$ ) entre ES<sub>2</sub> e ES<sub>3</sub>, porém foi estatisticamente superior em ES (Figura 9). Os valores mostram que a taxa de secagem nesse período da cinética de secagem é superior nas sementes ES<sub>2</sub> e ES<sub>3</sub>. Sendo a mesma matriz alimentar e a mesma temperatura de ar de secagem, tanto a taxa de secagem mais elevada quanto o maior período de taxa constante, observados nas sementes ES<sub>2</sub> e ES<sub>3</sub>, podem estar relacionadas à maior umidade, observada nessas sementes quando comparadas à semente ES. Esses resultados reafirmam que a separação enzimática ES possui os melhores resultados de acordo com os parâmetros de umidade, após a separação e tempo de secagem definidos para a análise do processo de separação entre polpa e semente. Desta forma, não se faz necessário apresentar a modelagem das cinéticas de ES<sub>2</sub> e ES<sub>3</sub>, uma vez que foram considerados menos adequados do que ES.

#### 4. CONCLUSÃO

Os tratamentos térmicos (TS), ácido (AS) e enzimático (ES), aplicados à polpa de pitaya orgânica *H. undatus*, foram capazes de promover a separação entre semente-polpa, influenciando nas taxas de secagem. O tratamento enzimático, com a aplicação da perctinex, foi o único capaz desfazer a cápsula mucilaginosa presente no entorno das sementes, o que causou a redução significativa no tempo de secagem dessas sementes, bem como, menor período de taxa constante e menor umidade final após a secagem.

A cinética de secagem demonstrou a presença dos dois períodos de taxa secagem, para as sementes, em todos os tratamentos. Contudo, o período de taxa constante foi o responsável por controlar o processo de secagem nessas sementes, predominando sobre o processo difusional, permitindo que as sementes tratadas enzimaticamente (ES) atingissem valores de umidade inferiores a 14 % após 80 minutos de secagem.

Embora as sementes por separação ácida (AS) tenham apresentado a maior taxa de secagem, em função da elevada umidade inicial, o coeficiente de difusão efetivo mostrou que os processos difusivos da água no interior dessas sementes foram menos favorecidos, necessitando de maior tempo para completar a secagem. Isso demonstrou que a presença de mucilagem na superfície dessas sementes causou resistência ao processo de transferência de massa, especialmente por difusão.

A modelagem matemática indicou que o modelo de Page foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, com maiores valores  $R^2$  e menores valores de  $X^2$  e RMSE, sendo um modelo adequado para prever a cinética de secagem de sementes de pitaya.

Os resultados demonstram que a hidrólise enzimática reduz o tempo de secagem das sementes, com consequente redução dos gastos energéticos associados e este processo. Somado a isto, o uso de enzimas pectinases é uma prática amplamente utilizada nas indústrias de processamento de sucos, com a finalidade de reduzir viscosidade e aumentar rendimento. Portanto, na produção de sucos de pitaya, o processo de hidrólise enzimática permitiria o aumento de escala sem causar mudanças significativas no processo, obtendo as sementes, não como um resíduo, mas sim como um subproduto, que pode ser empregado como ingrediente ou base para desenvolvimento de outros produtos.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, R. S. *et al.* Extração de mucilagem e substratos no desenvolvimento de plântulas de maracujazeiro-amarelo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 2, p. 605–612, 2014.
- ALVES, C. Z.; GODOY, A. R.; OLIVEIRA, N. C. Efeito da remoção da mucilagem na germinação e vigor de sementes de *Hylocereus undatus* Haw Effect of removal of mucilage in germination and seed vigor of *Hylocereus undatus* Haw. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 4, p. 586–589, 2012.
- ANGONESE, Mariana. **Potencial bioativo e tecnológico de polpas de pitaya (*Hylocereus spp.*) frescas e desidratadas**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Programa de Pós Graduação em Ciência dos Alimentos, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemistry. **Official Methods of Analysis of Official Analytical Chemist International**, 18<sup>th</sup> ed. AOAC, Gaithersburg, MD, USA, 2005.
- ARIFFIN, A. A. *et al.* Essential fatty acids of pitaya (dragon fruit) seed oil. **Food Chemistry**, v. 114, p. 561–564, 2009.
- BEZERRA, A. K. D. *et al.* Extração da mucilagem em sementes de *Genipa americana* L. visando o potencial fisiológico 1. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 4, p. 786–791, 2015.
- BEWLEY, J. Derek *et al.* **Seeds: Physiology of development, germination and dormancy**, 3rd edition. Chapter 1: Structure and composition, p. 1-25. New York: Springer, 2013
- BRASIL. **Instrução Normativa No. 11, de 15 de maio de /2007**. Regulamento técnico da soja. MAPA, 2007. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=1194426968>. Acesso em: 05 de set 2020.
- BRASIL. **Instrução Normativa No 12 de 28 de março de 2008**. Regulamento técnico do feijão. MAPA, 2008. Disponível em: <http://www.codapar.pr.gov.br/arquivos/File/pdf/FeijaoInstrucaoNormativa1208.pdf>. Acesso em: 05 de set 2020
- BRASIL. **Instrução Normativa No 6 de 16 de fevereiro de 2009**. Regulamento técnico do arroz. MAPA, 2009 Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/normativos-cgqv/pocs/instrucao-normativa-no-6-de-16-de-fevereiro-de-2009-arroz>. Acesso em: 05 de set 2020
- BRASIL. MAPA, 2011. **Instrução Normativa No 60 de 22 de dezembro de 2011**. Padrão oficial de classificação do milho. MAPA, 2011. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/normativos-cgqv/pocs/instrucao-normativa-no-60-de-22-de-dezembro-de-2011->

milho/view. Acesso em: 05 de set 2020

CARACHO, M.; MORALES, P.; FERREIRA, I. C. F. R. Natural food additives : Quo vadis ? **Trends in Food Science & Technology**, v. 45, p. 284–295, 2015.

CARLESSO, V. D. O. *et al.* Avaliação de modelos de secagem em camada fina de sementes de maracujá amarelo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 2, p. 28–37, 2007.

CHEMAH, T. C. *et al.* Determination of pitaya seeds as a natural antioxidant and source of essential fatty acids. **International Food Research Journal**, v. 17, n. 4, p. 1003–1010, 2010.

CHIELLE, D. P. *et al.* Convective drying of papaya seeds (*Carica papaya* L.) and optimization of oil extraction. **Industrial Crops and Products**, v. 85, p. 221–228, 2016.

COSTA, A. C. *et al.* Quality of pitaya fruits submitted to field bagging. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 39, p. 1–5, 2017.

CRANK, John. **The mathematics of diffusion**. 2th edition, Oxford: Clarendon Press, 1975, 421 p.

DINÇER, Ibrahim; ZAMFIRESCU, Calin. **Drying phenomena: Theory and applications**. 1th Edition, John United Kingdom: Wiley & Sons, 2016.

DA SILVA, F. P. *et al.* Drying kinetics of niger seeds. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 4, p. 727–738, 2017.

FELLOWS, Peter. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: Princípios e prática**. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2006

FERREIRA JUNIOR, W. N. *et al.* Modeling and thermodynamic properties of the drying of tamarind (*Tamarindus indica* L.) seeds. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 1, p. 37–43, 2021.

GARCIA, D. C. *et al.* A secagem de sementes. **Ciência Rural**, v. 34, n. 2, p. 603–608, 2004.

GAVA, Altanir Jaime; SILVA, Carlos Alberto Bento da; FRIAS, Jenifer Ribeiro Gava. **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 2008.

GEANKOPLIS, Christie. J. **Procesos de transporte y operaciones unitarias**. 3 ed. México: Cecsca, 1998.

HASSINI, L. *et al.* Studies on convective drying of ‘ *Amecliae* ’ *Opuntia ficus-indica* seeds and its effect on the quality of extracted oil based on its  $\alpha$ -tocopherol content. **Heat Mass Transfer**, v. 54, p. 393–402, 2018.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory. I. Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agr. Eng. Res.**, v.33, p. 169-174, 1961.

HUA, Q. *et al.* Plant Physiology and Biochemistry Metabolomic characterization of pitaya fruit from three red-skinned cultivars with different pulp colors. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 126, p. 117–125, 2018.

LE BELLEC, F.; VAILLANT, F.; IMBERT, E. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a new fruit crop, a market with a future. **Fruits**, v. 61, n. 4, p. 237–250, 2006.

LEWIS, W. K. The rate of drying of solid materials. **Journal of Ind Eng. Chem.**, v. 5, p. 427-432, 1921.

LIAOTRAKOON, W. *et al.* Dragon fruit (*Hylocereus* spp.) seed oils: Their characterization and stability under storage conditions. **JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 90, n. 2, p. 207–215, 2013.

LIM, H. K. *et al.* Chemical composition and DSC thermal properties of two species of *Hylocereus cacti* seed oil: *Hylocereus undatus* and *Hylocereus polyrhizus*. **Food Chemistry**, v. 119, n. 4, p. 1326–1331, 2010.

LONE, A. B. *et al.* The effects of light wavelength and intensity on the germination of pitaya seed genotypes. **Australian Journal of Crop Science**, v. 8, n. 11, p. 1475–1480, 2014.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. The Thin-layer Drying Characteristics of Garlic Slices. **Journal of Food Engineering**, v. 29, p. 75–97, 1996.

MERCADO-SILVA, Edmundo M. Pitaya—*Hylocereus undatus* (Haw). *In*: RODRIGUES, Sueli; SILVA, Ebenezer de Oliveira; BRITO, Ed Souza. **Exotic Fruits Reference Guide**, Elsevier Inc, p. 339-346, 2018

MUHAMMAD, K. *et al.* Food Hydrocolloids High methoxyl pectin from dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel. **Food hydrocolloids**, v. 42, p. 289–297, 2014.

MUÑOZ, L. A. *et al.* Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration. **Journal of Food Engineering**, v. 108, n. 1, p. 216–224, 2012.

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

NUR'ALIAA, A. R. *et al.* Response surface optimization for clarification of white pitaya juice using a commercial enzyme. **Journal of Food Process Engineering**, v. 33, n. 2, p. 333–347, 2008.

NUR'ALIAA, A. R.; SITI MAZLINA, M. K.; TAIP, F. S. Effects of commercial pectinases application on selected properties of red pitaya juice. **Journal of Food Process Engineering**, v. 34, n. 5, p. 1523–1534, 2011.



- ORTIZ, T. A. *et al.* Effects of the hydrogen potential and fungicide treatment on Pitaya seed germination. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 37, n. 1, p. 69, 2014.
- ORTIZ, T. A. *et al.* Pitaya genotypes ( *Hylocereus* spp .) seed germination at different pH levels based on statistical models. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 08, p. 1200–1204, 2018.
- ORTIZ, T. A.; MORITZ, A.; TAKAHASHI, L. S. A. Physiological maturity of pitahaya (*Hylocereus undatus*) seeds and its correlation with fruit equatorial diameter. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, n. 12, p. 1197–1204, 2015.
- PAGE, Glen. E. **Factors influencing the maximum rates of air-drying shelled corn in thin-layer**. 1949. Dissertation (Master of Science in Mechanical Engineering), Purdue University, Indiana, 1949.
- RAMÍREZ-TRUQUE, C.; ESQUIVEL, P.; CARLE, R. Neutral sugar profile of cell wall polysaccharides of pitaya (*Hylocereus* sp.) fruits. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 3, p. 1134–1138, 2011.
- REIS, R. C. *et al.* Modelagem matemática da secagem da pimenta Cumari do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 151, n. 4, p. 347–353, 2011.
- ROBERTS, J. S.; KIDD, D. R.; PADILLA-ZAKOUR, O. Drying kinetics of grape seeds. **Journal of Food Engineering**, v. 89, n. 4, p. 460–465, 2008.
- ROSA, D. P. *et al.* MATHEMATICAL MODELING OF ORANGE SEED DRYING KINETICS. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 39, n. 3, p. 291–300, 2015.
- RUI, H. *et al.* Extraction and characteristics of seed kernel oil from white pitaya. **Journal of Food Engineering**, v. 93, n. 4, p. 482–486, 2009.
- RUTHS, Rodrigo. **Propagação vegetativa de *Selenicereus setaceus* e a influência da temperatura e luminosidade na germinação das espécies *Selenicereus setaceus*, *Hylocereus undatus* e *Hylocereus polyrhizus***. 2016. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável) - Programa de Pós Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável, Universidade Federal da Fronteira Sul, Laranjeiras do Sul, 2016. Disponível em: [http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFFS\\_db085f76b826be0ed2d5b7807492c35c](http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFFS_db085f76b826be0ed2d5b7807492c35c). Acesso em: 21 nov. 2018.
- SAAVEDRA, J. *et al.* Industrial avocado waste: Functional compounds preservation by convective drying process. **Journal of Food Engineering**, v. 198, p. 81,90, 2017.
- SAGAR, N. A. *et al.* Fruit and Vegetable Waste: Bioactive Compounds, Their Extraction, and Possible Utilization. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 3, p. 512–531, 2018.

SANTOS, M. R. P. V. DOS *et al.* Características físico-químicas , compostos bioativos , atividade antioxidante e enzimática de frutos da pitaya ( *Hylocereus undatus* ). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 10, n. 1, p. 2081–2095, 2016.

SCHWEIGGERT, R. M. *et al.* Development and optimization of low temperature enzyme-assisted liquefaction for the production of colouring foodstuff from purple pitaya (*Hylocereus* sp. [Weber] Britton & Rose). **European Food Research and Technology**, v. 230, n. 2, p. 269–280, 2009.

SIMÃO, R. DA S. *et al.* Conductive drying methods for producing high-quality restructured pineapple-starch snacks. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 70, n. January, 2021.

SILVA, F.P., SIQUEIRA, V.C., QUINZANI, G.A., MATINS, E.A.S., GONELI, A.L.D. Drying kinetics of niger seeds. **Eng. Agric.** 37, p. 727–738, 2017.  
<https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n4p727-738/2017>

SOUKOULIS, C.; GAIANI, C.; HOFFMANN, L. Plant seed mucilage as emerging biopolymer in food industry applications. **Current Opinion in Food Science**, v. 22, p. 22–28, 2018.

TENORE, G. C.; NOVELLINO, E.; BASILE, A. Nutraceutical potential and antioxidant benefits of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) extracts. **Journal of Functional Foods**, v. 4, n. 1, p. 129–136, 2012.

UNIPROT. **UniProtKB - O74213** (PGLR1\_ASPAC), 2019. Disponível em:  
<https://www.uniprot.org/uniprot/O74213>. Acesso em: 09 de mar. 2019.

VILLALOBOS-GUTIÉRREZ, M. G. *et al.* Chemical characterization of Central American pitaya (*Hylocereus* sp.) seeds and seed oil. **CYTA - Journal of Food**, v. 10, n. 1, p. 78–83, 2012.

WICHENCHOT, S.; JATUPORNPIPAT, M.; RASTALL, R. A. Oligosaccharides of pitaya (dragon fruit) flesh and their prebiotic properties. **Food Chemistry**, v. 120, n. 3, p. 850–857, 2010.

## CAPÍTULO 4

### **Propriedades tecnológicas, propriedades térmicas e isotermas de adsorção de umidade de sementes de pitaya orgânica (*Hylocereus undatus* [Haw.] Britton & Rose)**

\* Artigo submetido e atualmente em revisão na *Food Research International*

\* Certificado do Trabalho apresentado *I Congreso Euroamericano de Procesos y Productos Alimentarios* (I CEAPA), referente à parte deste capítulo (Anexo B).

\* Menção honrosa por estar entre os 10 melhores trabalhos apresentados no *I Congreso Euroamericano de Procesos y Productos Alimentarios* (I CEAPA) (Anexo C).

## RESUMO

Sementes de pitaya (*H. undatus*) constituem resíduos agroindustriais cujo aproveitamento pode gerar uma grande oportunidade para o desenvolvimento de novos produtos e agregação de valor. Entretanto, existe escassez de estudos que caracterizem esses materiais, especialmente no Brasil. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi caracterizar as sementes em termos de composição proximal, propriedades tecnológicas, propriedades térmicas e isotermas de adsorção de umidade. Fibra alimentar, lipídeos e proteínas apresentaram os maiores componentes das sementes. A análise termogravimétrica evidenciou três eventos de perda de massa, com início de processos de degradação a 200 °C. Observaram-se transições de primeira ordem na semente integral, tegumento e endosperma, que ocorreram entre - 42 °C e 205 °C, com uma transição vítrea a - 1°C. As sementes foram capazes de reter 153 % e 89 % da sua massa em água e em óleo, respectivamente, apresentando índice de solubilidade de 0,01 gss.gH<sub>2</sub>O<sup>-1</sup>, não sendo identificada a capacidade emulsificante. As sementes apresentaram características higroscópicas, com valor de umidade de monocamada de 3,4 e 3,2 gH<sub>2</sub>O.100 gss<sup>-1</sup> para sementes em pó e sementes inteiras, respectivamente. Dentre os modelos selecionados, o modelo de GAB foi considerado mais adequado para descrever as isotermas dessas sementes a 25 °C. Os resultados indicam que as sementes de pitaya constituem um material interessante em termos de composição e propriedades tecnológicas para emprego como ingrediente na formulação de produtos alimentícios.

**Palavras-chave:** *Dragon fruit*, capacidade de retenção de água, capacidade de retenção de óleo, subproduto, resíduo.

### ABSTRACT

Pitaya seeds (*Hylocereus undatus*) constitute agroindustrial residues with a high potential for developing new products and adding value. Studies that characterize these materials are scarce, especially in Brazil. This work aimed to characterize proximal composition, technological properties, thermal properties, and moisture adsorption isotherms. Carbohydrates, lipids, and proteins were the major components. Thermogravimetric analysis showed three mass loss events, with the degradation processes beginning at 200 °C. First-order transitions were observed in the whole seed, seed coat, and endosperm, occurring between - 42 °C to 205 °C, with a glass transition in -1 °C. Water and oil retentions were 153 % and 89 % of their mass, respectively, presenting a solubility index of 0.01 gss.gH<sub>2</sub>O<sup>-1</sup>, and the emulsifying capacity was not identified. The seeds showed hygroscopic characteristics, with a monolayer moisture value of 3.4 and 3.2 gH<sub>2</sub>O.100g solids<sup>-1</sup> (dry basis) for powdered seeds and whole seeds, respectively. Among the selected models, the GAB model was considered more adequate to describe the isotherms of these seeds at 25 °C. The results indicate that pitaya seeds are promising materials for use as ingredients in the formulation of food products.

**Keywords:** Dragon fruit, water holding capacity, oil holding capacity, by-products, waste.

## 1. INTRODUÇÃO

A produção agrícola e o processamento na indústria de alimentos têm o desafio de reduzir a produção de resíduos e, uma estratégia, tem sido a utilização de resíduos alimentares para a produção de novos ingredientes. De acordo com Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), todo o ano são perdidos ou desperdiçados 1,3 bilhão de toneladas de alimentos e quase metade de todas as frutas e hortaliças produzidas (45 %) (BENÍTEZ, 2021). Na agroindústria, cerca de 50 % dos resíduos gerados correspondem a raízes, frutas, hortaliças e sementes e, no processamento de frutas, cerca de 40 % dos resíduos são oriundos de cascas e sementes. Contudo, estes resíduos podem ser gerenciados de forma mais eficiente, uma vez que têm se mostrado ricos em componentes bioativos (BENÍTEZ, 2021; JIANG *et al.*, 2021; NASCIMENTO FILHO; FRANCO, 2015).

Nesta perspectiva, as regras da Economia Circular se concentram em diminuir a quantidade de resíduos produzidos e sua reutilização na forma de subprodutos. Desta forma, diversos esforços têm sido realizados por pesquisadores para conduzir pesquisas que utilizem resíduos alimentares como matrizes para obtenção de substâncias específicas ou misturas. Além de demandas ambientais, o interesse tem sido despertado também pela composição desses resíduos. Isso porque são ricos em compostos de interesse industrial como açúcares, polissacarídeos, proteínas, fibras, aromas, vitaminas, ácidos graxos e, especialmente, compostos bioativos com atividade antioxidante e/ou antimicrobiana (DIAS *et al.*, 2019; SAGAR *et al.*, 2018). Dentre esses resíduos, chamamos a atenção para as sementes de pitaya (CHEMAH *et al.*, 2010; LIM *et al.*, 2010). Embora a comunidade científica tenha interesse pelas propriedades bioativas da pitaya (polpa, casca e sementes), estudos de separação e caracterização das sementes de pitaya ainda são escassos na literatura, contexto no qual se insere uma publicação recente conduzida por nosso grupo de pesquisa (SANTANA *et al.*, 2022).

*Hylocereus undatus* é uma espécie de pitaya popularmente conhecida, também, como pitahaya, pitaia ou *dragon fruit*. É uma fruta exótica pertencente à família das Cactáceas, originária do México e América Central e, tem sido cultivada em muitas áreas tropicais e subtropicais em todo o mundo, inclusive no Brasil (HUA *et al.*, 2018). Além de ser uma fruta atraente ao consumidor, tornou-se uma alternativa econômica no mercado de frutas exóticas devido ao seu alto valor agregado (ORTIZ *et al.*, 2018). Além disso, a pitaya tem recebido destaque nos últimos anos, especialmente devido a suas propriedades bioativas, nutricionais e

nutracênticas, o que lhe confere o status de super fruta (ANGONESE *et al.*, 2021; HUA *et al.*, 2018; MIZRAHI, 2014).

Embora os estudos com sementes de pitaya, para fins alimentares, ainda sejam escassos, alguns trabalhos têm demonstrado seu potencial como um subproduto funcional, devido a sua composição nutricional e seu perfil fitoquímico. No que se referem às características nutricionais, as sementes de pitaya apresentam teores de proteínas comparáveis às leguminosas, além de possuírem elevada concentração de ácidos graxos, sendo 75 % deles do tipo insaturados (ARIFFIN *et al.*, 2009; RUI *et al.*, 2009; VILLALOBOS-GUTIÉRREZ *et al.*, 2012). Ademais, em seus extratos, destacam-se a presença de tocoferóis, flavonoides, esteróis e ácidos fenólicos, demonstrando atividades antioxidantes, sendo inclusive, os teores fenólicos e flavonoides maiores do que o encontrado na casca e na polpa dessa fruta (CHEMAH *et al.*, 2010; LIAOTRAKON *et al.*, 2013; LIM *et al.*, 2010; SAENJUM; PATTANANANDECHA; NAKAGAWA, 2021). Contudo, a literatura sobre sementes de pitaya (*H. undatus*) ainda não dispõe de estudos sobre suas propriedades tecnológicas, seu comportamento em ambientes de elevada concentração de água e de óleo, bem como, suas temperaturas críticas de processamento, informações estas, indispensáveis para o desenvolvimento de produtos alimentares.

As sementes são fontes não convencionais de nutrientes. Entretanto, as sementes de pitaya podem fornecer propriedades funcionais após serem incorporadas em determinados produtos alimentícios. A tomada de decisão para a inserção de sementes na dieta humana deve levar em consideração sua composição, características físicas e propriedades funcionais (SONAWANE *et al.*, 2016). As propriedades tecnológicas, como capacidade de retenção de água (CRA), capacidade de retenção de óleo (CRO) e capacidade emulsificante (CE) são importantes para avaliar a potencial aplicação de uma determinada matriz alimentar como ingrediente na formulação de novos produtos (KINSELLA, 1976). Entretanto, pode haver alguns constituintes termossensíveis nas sementes que podem sofrer mudanças em função das temperaturas usuais de processamento e estocagem. Desta forma, é importante avaliar a degradação térmica e as temperaturas de mudanças de fases desses componentes, as quais podem ser realizadas por meio das técnicas de análise térmica. Isso permite determinar os eventos térmicos que ocorrem no alimento quando este é submetido a fluxos de calor, bem como, estabelecer as temperaturas limites às quais esses alimentos podem ser submetidos durante o processamento, sem que ocorram danos térmicos significativos aos mesmos (KALETUNÇ, 2009).

As sementes de pitaya são matrizes alimentares de composição complexa, de natureza amorfa e, dada a natureza hidrofílica de alguns componentes, elas podem absorver água, causando a plastificação. A plastificação pode promover modificações nas propriedades associadas à transição vítrea e na sua atividade de água, alterando a estabilidade físico-química e microbiológica das sementes durante o armazenamento. Este entendimento é importante, portanto, para definir embalagens e condições de armazenagem, e pode ser realizado com o auxílio das isotermas de sorção, pois estas permitem prever o comportamento dos materiais alimentares em diferentes umidades relativas (FELLOWS, 2006; THYS *et al.*, 2010).

A avaliação de propriedades tecnológicas e nutricionais de novos ingredientes industriais permite prever seus comportamentos frente a determinadas condições de processamento. Embora o potencial nutricional e o processo de secagem tenham sido explorados em outros trabalhos (ARIFFIN *et al.*, 2009; CHEMAH *et al.*, 2010; LIAOTRAKOON *et al.*, 2013; SANTANA *et al.*, 2022; VILLALOBOS-GUTIÉRREZ *et al.*, 2012), estudos acerca das propriedades tecnológicas das sementes de pitaya ainda não são encontrados na literatura. Vale ressaltar, ainda, que a variabilidade intraespecífica natural esperada para produtos naturais justifica a investigação de propriedades nutricionais, mesmo se já reportadas, contribuindo para compreensão das potencialidades da matéria-prima. Assim, no presente capítulo, objetivamos caracterizar as sementes de pitaya orgânica (*H. undatus*) em termos nutricionais, tecnológicos e térmicos.



## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 MATERIAL

Os reagentes químicos e os sais utilizados para isotermas, todos de grau analítico, foram da marca Vetec Química Fina (Rio de Janeiro, Brasil), Lefan Química Fina (São Paulo, Brasil) e Neon Comercial (São Paulo, Brasil). A enzima Pectinex (Ultra SP-L, atividade declarada 3.300 unidades de poligalacturonase por grama) foi cedida pela LNF Latino Americana (Rio Grande do Sul, Brasil).

### 2.2. AMOSTRA

As pitayas orgânicas (*H. undatus*) foram doadas pela fazenda Recanto das Pitayas, localizada em Turvo, Santa Catarina (28° 55.117'S, 49° 41.572'O), safra de 2018-2019 com colheita entre os meses de fevereiro a abril de 2019. As polpas das frutas apresentaram pH de 4,5 e teor de sólidos solúveis totais de 9,0 °Brix.

As frutas foram recebidas em caixas de papelão com capacidade para cerca de 20 kg após transporte em transportadora comercial. Após o recebimento, em um prazo máximo de 24 horas, as frutas foram lavadas em água corrente e sanitizadas em solução de hipoclorito de sódio (100 ppm) por 15 minutos. Em seguida, as cascas das frutas foram removidas e as polpas foram fracionadas manualmente em cubos de aproximadamente 1cm x 1cm, acondicionadas em embalagens de polietileno e mantidas a -18 °C para posteriores análises.

Anteriormente a cada análise, a polpa foi descongelada (*overnight*) em temperatura de refrigeração 5 °C ± 1 °C.

#### 2.2.1 Preparo das amostras

Para a obtenção das sementes, foi realizada uma separação da polpa por hidrólise enzimática, com auxílio de Pectinex, conforme descrito por Santana *et al.* (2022). A reação enzimática ocorreu em reatores de vidro encamisados com temperatura de 51°C ± 1°C por 45 minutos, sob constante agitação. As sementes foram obtidas após lavagem em água corrente e filtragem, à vácuo, em papel filtro qualitativo. Posteriormente, as sementes foram desidratadas em estufa com circulação de ar forçado (Tecnal TE-394/2, Brasil), com velocidade do ar de 0,78 m s<sup>-1</sup>, temperatura de 45 °C ± 1°C por 180 minutos e, posteriormente, embaladas a vácuo em embalagem de polietileno e mantidas a -18°C até a realização das análises. A umidade final das sementes após a secagem foi de 5,5 %.

Anteriormente às análises, quando necessário, as sementes foram moídas em moedor de facas ajustável (Hamilton Beach, EUA) no modo fino, peneiradas e foram selecionadas as partículas com granulometria de -14/+42 (mesh).

### 2.3. COMPOSIÇÃO PROXIMAL

A composição proximal das sementes de pitaya, em termos de umidade e voláteis, proteínas, lipídeos, cinzas, fibras e carboidratos (este último por diferença), foi determinada.

O teor de umidade e voláteis foi determinado por gravimetria, após desidratação em estufa de secagem (Fanen, 325 SE, Brasil) a 105 °C até que a amostra atingisse massa constante, conforme o método 012/IV (IAL, 2008). O conteúdo total de proteínas foi determinado pelo método de Kjeldahl, de acordo com a metodologia 991.20 (AOAC, 1995). O fator de conversão usado foi  $N = 6,25$ . As cinzas foram determinadas por incineração em mufla a 500 °C de acordo com o método 900.02 (AOAC, 1995). Os lipídeos foram extraídos em extrator Soxhlet com éter de petróleo e determinados gravimetricamente de acordo com o método 920.39 (AOAC, 1995). A quantificação das fibras alimentares (fração solúvel e insolúvel) seguiu a metodologia descrita por Freitas *et al.* (2008), utilizando-se o kit para determinação de fibra da Sigma-Aldrich contendo as enzimas  $\alpha$ -amilase, protease e amiloglucosidade (MALLEK-AYADI; BAHLOUL; KECHAOU, 2017). A porcentagem de carboidratos foi calculada pela subtração de todos os teores acima citados: (*carboidratos* =  $100 - (\text{água e voláteis} + \text{lipídeos} + \text{proteínas} + \text{cinzas} + \text{fibra alimentar})$ ).

Todos os ensaios foram realizados em triplicata e os resultados foram expressos como valor médio  $\pm$  desvio padrão de grama de analito por cem gramas de sólido seco ( $\text{g} \cdot 100\text{gss}^{-1}$ ).

### 2.4 ANÁLISES TÉRMICAS

As curvas termogravimétricas (TGA e DTG), que fornecem as temperaturas de degradação, foram obtidas por meio do TGA 50 (Shimadzu, Japão). Aproximadamente 10 mg  $\pm$  2 mg de amostra foram transferidas para panela de alumínio e adaptadas à termobalança do TGA. As condições de análise foram: taxa de aquecimento de 10 °C  $\text{min}^{-1}$  em um intervalo de temperatura de 25 °C a 800°C e atmosfera dinâmica de nitrogênio com vazão de 50 mL  $\text{min}^{-1}$ .

A Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) foi utilizada para avaliar as transições de fase das sementes de pitaya. Devido à complexidade da composição dessas sementes e, buscando um melhor resultado para a análise, foi avaliada a semente integral (S1), seu

tegumento (C1) e o seu endosperma (E1), estes dois últimos separadamente. Essa separação foi conduzida manualmente com auxílio de pistilo. Aproximadamente de  $8 \text{ mg} \pm 3 \text{ mg}$  das amostras foram pesadas em panela de alumínio, seladas e analisadas em calorímetro Jade-DSC (Perker Elmer, EUA), utilizando panela de alumínio vazia como referência e atmosfera dinâmica de nitrogênio com vazão de  $50 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ . Para detectar as transições térmicas e os processos de transição vítrea ( $T_g$ ), o ensaio foi conduzido por meio de dois ciclos de aquecimento/resfriamento em uma faixa de temperatura de  $-60 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $350 \text{ }^\circ\text{C}$ , cujas condições foram:

- Isoterma a  $-60 \text{ }^\circ\text{C}$  por 1 minuto;
- Corrida 1: Taxa de aquecimento de  $10 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  em um intervalo de temperatura de  $-60 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $350 \text{ }^\circ\text{C}$ . Isoterma a  $350 \text{ }^\circ\text{C}$  por 2 minutos. Resfriamento a taxa de  $2 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  até  $-60 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- Isoterma a  $-60 \text{ }^\circ\text{C}$  por 10 minutos;
- Corrida 2: Taxa de aquecimento de  $10 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  em um intervalo de temperatura de  $-60 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $350 \text{ }^\circ\text{C}$ . Isoterma a  $-350 \text{ }^\circ\text{C}$  por 2 minutos.

As curvas termogravimétricas de  $dm/dt$  por temperatura ( $^\circ\text{C}$ ), a % massa por temperatura ( $^\circ\text{C}$ ) e os diagramas de DSC de fluxo de calor (mW) em função da temperatura ( $^\circ\text{C}$ ), foram registrados e interpretados por meio do software Origin 8.5.

## 2.5 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

### 2.5.1 Capacidade de retenção de água e índice de solubilidade

A determinação da capacidade de retenção de água (CRA) seguiu a metodologia descrita por Capitani *et al.* (2012), onde  $1 \text{ g} \pm 0,2 \text{ g}$  de semente moída foi acondicionado em tubo falcon de 15 mL contendo 10 g de água destilada. Na sequência, o tubo foi homogeneizado por 1 minuto em agitador de tubo tipo vortex (VTX-F-220, Biomixer, Brasil) com agitação fixa de 2.800 RPM. A suspensão foi centrifugada em centrífuga (Centrifuge 5804R, Eppendorf, Alemaha) a 2.200 G por 30 minutos. O volume do sobrenadante foi mensurado e a CRA foi expressa como média  $\pm$  desvio padrão de grama de água por grama de sólido seco ( $\text{gH}_2\text{O}\cdot\text{gss}^{-1}$ ).

A determinação do índice de solubilidade (IS) foi conduzida de acordo com Vázquez *et al.* (2009). Uma alíquota de 5 mL do sobrenadante obtido da análise de CRA foi transferida

para cápsulas de alumínio e seca em estufa a 105°C. O percentual (m/m) de solubilidade foi calculado pela diferença entre a massa final e inicial do sobrenadante e o valor foi expresso como média  $\pm$  desvio padrão em grama de sólido seco por grama de água (gss.gH<sub>2</sub>O<sup>-1</sup>).

Todas as análises foram realizadas em triplicata.

### 2.5.2 Capacidade de retenção de óleo

Os ensaios de capacidade de retenção de óleo (CRO) seguiram a metodologia descrita no item 2.5.1, substituindo a água por óleo de canola. (densidade de 0,92 g.mL<sup>-1</sup>). Os resultados foram expressos como média  $\pm$  desvio padrão de grama de óleo retido por grama de sólido seco (gO.gss<sup>-1</sup>).

### 2.5.3 Atividade emulsificante

A atividade emulsificante (AE) foi determinada conforme metodologia descrita por Capitani *et al.* (2012), com modificações. A massa de 1,0 g  $\pm$  0,1 g de semente em moída foi transferida para um béquer de 600 mL, suspensa em 100 mL de água destilada e homogeneizada com auxílio de Ultra-Turrax (T25 digital, IKA, Alemanha) a 7.800 RPM por 2 minutos. Em seguida, 100 mL de óleo de canola foram adicionados ao béquer e homogeneizados em Ultra-Turrax com 15.000 RPM por 2 minutos. Posteriormente, a suspensão foi transferida para tubos falcon de 15 mL e centrifugada em centrífuga (Centrifuge 5804R, Eppendorf, Alemaha) a 460 G por 10 minutos. O volume da emulsão formado foi mensurado e a AE foi expressa em volume (mL) da camada emulsificada em 100 mL do volume original.

O ensaio foi realizado em triplicata.

## 2.5 ISOTERMA DE ADSORÇÃO DE UMIDADE

Foram conduzidos dois ensaios de isoterma de adsorção separadamente, um com as sementes em pó (moídas) e outro com as sementes inteiras.

Para a determinação das isotermas, foi empregado o método gravimétrico estático (BARBOSA-CÁNOVAS *et al.*, 2007). Para os ensaios, foram aplicadas sete soluções salinas saturadas (Tabela 1), que fornecem diferentes condições de umidade relativa (UR) e atividade de água (a<sub>w</sub>) na faixa de 0,1 a 0,9 em ambiente de temperatura constante (YOUNG, 1987). Neste ensaio, avaliou-se periodicamente a massa da amostra até verificação de um valor constante, onde se considerou atingida a condição de equilíbrio.

Tabela 1 – Soluções saturadas de sais e suas respectivas umidades relativas a 25°C

Sais	UR (%)	a <sub>w</sub> (UR/100)
Cloreto de lítio (LiCl)	11	0,1
Cloreto de magnésio (MgCl)	33	0,3
Carbonato de potássio (KCO <sub>3</sub> )	43	0,4
Brometo de sódio (NaBr)	58	0,6
Cloreto de sódio (NaCl)	75	0,7
Brometo de potássio (KBr)	80	0,7
Cloreto de bário (BaCl <sub>2</sub> )	90	0,9

Fonte: Adaptado de Barbosa-Cánovas e Vega-Marcado (2000)

Anteriormente as análises, as amostras foram mantidas em dessecador com sílica gel por 10 dias, havendo duas trocas de sílica durante esse período. Alíquotas de 1 g ± 0,2 g (em triplicata para cada semente e para cada solução salina) foram pesadas em cadinhos de porcelana, previamente secos. Posteriormente, os cadinhos foram acondicionados em recipientes hermeticamente fechados, sem circulação de ar, contendo as soluções de sais saturadas e mantidos em câmara incubadora BOD (TE-371, Tecnal, Brasil) com temperatura constante de 25 °C. Os cadinhos com as amostras foram pesados em balança analítica (Bioprecisa, FA2104N, Brasil), em intervalos de tempo regulares, até atingirem massa constante (variações menores de 0,001 g), que foi considerada a condição de equilíbrio higroscópico.

Após atingir o equilíbrio, as amostras foram desidratadas em câmara de secagem (DeLeo, Brasil) a 60°C, até massa constante e a determinação do teor de umidade de equilíbrio (Xe) em base seca (gH<sub>2</sub>O.100gss<sup>-1</sup>), foi realizada por meio da Equação 1.

$$Xe = \frac{m_e - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde: Xe = Umidade de equilíbrio em base seca; m<sub>e</sub> = massa da amostra no equilíbrio; m<sub>s</sub> = massa seca da amostra.

As curvas das isotermas foram obtidas por meio da plotagem dos valores de Xe em função da a<sub>w</sub>. A descrição da relação entre Xe e a<sub>w</sub> pode ser verificada por diversos modelos matemáticos, os quais foram propostos para produtos alimentares. Neste estudo, os modelos

de Guggenheim, Anderson e Boer (GAB), Bruanuer, Emmett e Teller - BET linearizado e BET camadas finitas, Peleg, Smith e Oswin foram ajustados aos dados experimentais de  $X_e$  em função da  $a_w$ , conforme Equações 2 a 7 (Tabela 2). Estes modelos foram selecionados por apresentarem bom desempenho no ajuste de isotermas em diversas sementes.

Tabela 2 – Modelos para ajuste das isotermas de adsorção de umidade das sementes de pitaya orgânica (*H. undatus*)

Nome das equações	Equação
GAB - Guggenheim-Anderson-de Boer (VAN DEN BERG, 1985)	$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w)(1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)} \quad (2)$
PELEG (PELEG, 1993)	$X_e = k_1 \cdot a_w^{n_1} + k_2 \cdot a_w^{n_2} \quad (3)$
BET linearizado (BRUNAUER, EMMETT, & TELLER, 1938)	$\frac{a_w}{(1 - a_w) \cdot X_e} = \frac{1}{X_m \cdot C} + \frac{(C - 1) \cdot a_w}{X_m \cdot C} \quad (4)$
BET camadas finitas (BRUNAUER, EMMETT, & TELLER, 1938)	$X_e = \frac{(X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w) \cdot (1 - (n + 1) \cdot a_w^n + n \cdot a_w^{n+1})}{(1 - a_w) \cdot 1 + (C + 1) \cdot a_w - C \cdot a_w^{n+1}} \quad (5)$
Smith (SMITH; SMITH, 1947)	$X_e = A - B \cdot [\ln(1 - a_w)] \quad (6)$
Oswin (LOMAURO; BAKSHI; LABUZA, 1985; OSWIN, 1946)	$X_e = A \cdot \left( \frac{a_w}{1 - a_w} \right)^B \quad (7)$

$X_e$  = Umidade de equilíbrio em base seca ( $\text{gH}_2\text{O} \cdot 100\text{g ss}^{-1}$ );  $a_w$  = atividade de água;  $X_m$  = umidade na monocamada molecular ( $\text{gH}_2\text{O} \cdot 100\text{g ss}^{-1}$ ), A, B, C, K,  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $n_1$  e  $n_2$  são parâmetros dos modelos.

## 2.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para avaliação dos valores médios da umidade de equilíbrio ( $X_e$ ), das isotermas das sementes em pó e das sementes inteiras, foi aplicada a análise de variância (ANOVA) seguida pelo Teste de Tukey, com diferença significativa de 5 % entre os valores, utilizando o software estatística 7.0<sup>®</sup> (Statsoft, Tulsa, OK, EUA).

O ajuste dos modelos matemáticos para isoterma de adsorção foi realizado por regressão não linear, com 95 % de probabilidade, utilizando o software estatística 7.0<sup>®</sup> (Statsoft, Tulsa, OK, EUA).

Para avaliar a qualidade e selecionar o melhor modelo para a descrição do teor de umidade de equilíbrio em semente de pitaya, foram considerados: a magnitude do coeficiente de determinação ( $R^2$ , idealmente próximo a 1), o Erro Médio Relativo (MRE, desejável inferior a 10 %), o Desvio Padrão da Estimativa (SDE, desejável inferior a 1 %) e a distribuição residual (Equações 8 a 10). Para um bom ajuste matemático, o MRE deve ser menor que 10 %, o SDE deve próximo de zero e os resíduos devem apresentar distribuição aleatória (BUSTOS-VANEGAS *et al.*, 2018).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_{e_{pred,i}} - \bar{Xe})^2}{\sum_{i=1}^n (X_{e_{expj}} - \bar{Xe})^2} \quad (8)$$

$$SDE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{GLR}} \quad (9)$$

$$MRE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - \hat{Y}_i|}{Y_i} \quad (10)$$

Onde:  $Y_i$  é o valor observado experimentalmente (% base seca) ( $\text{gH}_2\text{O} \cdot 100\text{g ss}^{-1}$ ),  $\hat{Y}_i$  é o valor calculado pelo modelo ( $\text{gH}_2\text{O} \cdot 100\text{g ss}^{-1}$ ),  $N$  é o número de dados observados e GRL são os graus de liberdade residuais (número de dados observados subtraído do número de parâmetros do modelo).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 COMPOSIÇÃO PROXIMAL

Os resultados da composição proximal das sementes de pitaya orgânica (*H. undatus*) podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 – Composição proximal das sementes de pitaya orgânica (*H. undatus*)

Semente de pitaya ( $\bar{X} \pm S^*$ ) (g.100gss <sup>-1</sup> )					
Umidade	Lipídeos	Proteínas	Cinzas	Fibra alimentar	Demais Carboidratos
5,5 ± 0,2	30,0 ± 1,0	24,50 ± 0,3	2,6 ± 0,1	36,80 ± 0,2	0,60
				Fibra insolúvel	31,1 ± 0,2
				Fibra solúvel	5,7 ± 0,2

Fonte: Elaborada pela autora (2021)

Nota: ( $\bar{X} \pm S$ ) – Média e desvio padrão.

A soma dos teores de fibra insolúvel e fibra solúvel representam o valor total da fibra alimentar.

O teor de umidade nas sementes de pitaya foi similar ao reportado por Chemah *et al.* (2010) para as sementes de pitaya dos gêneros *Hylocereus (undatus e polyrhizus)* e *Selenicereus megalanthus*. Quando comparada às sementes da família *Hylocereus polyrhizus* estudadas por Villalobos-gutiérrez *et al.* (2012), os teores se mostraram inferiores, cujo valor apresentado pelos autores foi de 12,6 %. A diferença no teor de umidade pode estar associada ao preparo das sementes para a análise após a separação da polpa, uma vez que enquanto Chemah *et al.* (2010) secaram as sementes em estufa a 40 °C/*overnight*, Villalobos-gutiérrez *et al.* (2012) secaram ao ar ambiente.

O teor de lipídeos foi o segundo componente com maior presença nas sementes. Foi similar ao reportado por outros autores para sementes da mesma espécie de pitaya (*H. undatus*) (27,5 % a 32 %), sendo, contudo, superior ao reportado para sementes de pitaya *Hylocereus polyrhizus* (18,3 % a 22,8 %) e *Selenicereus megalanthus* (18,8 %) (ARIFFIN *et al.*, 2009; CHEMAH *et al.*, 2010; LIM *et al.*, 2010). Quando comparado a outras espécies de cactos, tais como *Opuntia ficus-indica L.* (5 % a 14,4 %) e *Opuntia stricta* (11 %) as sementes de pitaya apresentaram um teor lipídico, pelo menos, duas vezes maior do que o reportado



para essas sementes (ENNOURI *et al.*, 2005; MANNOUBI *et al.*, 2009; MATTHÄUS; MEHMET, 2011),

O teor de proteínas determinado corrobora com o reportado em outros estudos com semente de pitaya (CHEMAH *et al.*, 2010; LIAOTRAKOON *et al.*, 2013; LIM *et al.*, 2010; VILLALOBOS-GUTIÉRREZ *et al.*, 2012). O teor proteico nas sementes de pitaya mostrou-se superior ao de outras sementes como linhaça (19,5 %), chia (24,3%) gergelim (17,8 %), amaranto (15,3 %), e ao arroz branco (6,8 %) (USDA, 2020), podendo ser comparada ao teor de leguminosas, como grão-de-bico (25 %), feijão preto (24,3 %) e ervilha verde (25 %) (USDA, 2020). O elevado teor de proteínas pode tornar as sementes de pitaya ingredientes interessantes à indústria de alimentos, onde as propriedades funcionais atribuídas a estes componentes sejam necessárias em determinados produtos.

As fibras representaram o maior teor de carboidratos, bem como, a maior fração dos macronutrientes observados nessas sementes (36,8 %). Destaque para as fibras insolúveis que representaram a maior parcela dessas fibras (85 %). Essa elevada concentração pode estar associada à presença de lignocelulose, especialmente celulose e hemicelulose, que são polissacarídeos constituintes comuns de cascas de sementes. Isto sugere que as sementes de pitaya podem ser uma importante fonte de fibras insolúveis. De acordo com Banerjee *et al.* (2017), recentemente tem havido um aumento no interesse de pesquisas em biomassa lignocelulósica, especialmente advinda de alimentos residuais, como fonte renovável de polissacarídeos bioativos. Os valores de carboidratos e fibras obtidos neste trabalho são similares aos reportados por Villalobos-gutiérrez *et al.* (2012) para semente de pitaya da espécie *Hylocereus polyrhizus*.

### 3.2 ANÁLISES TÉRMICAS

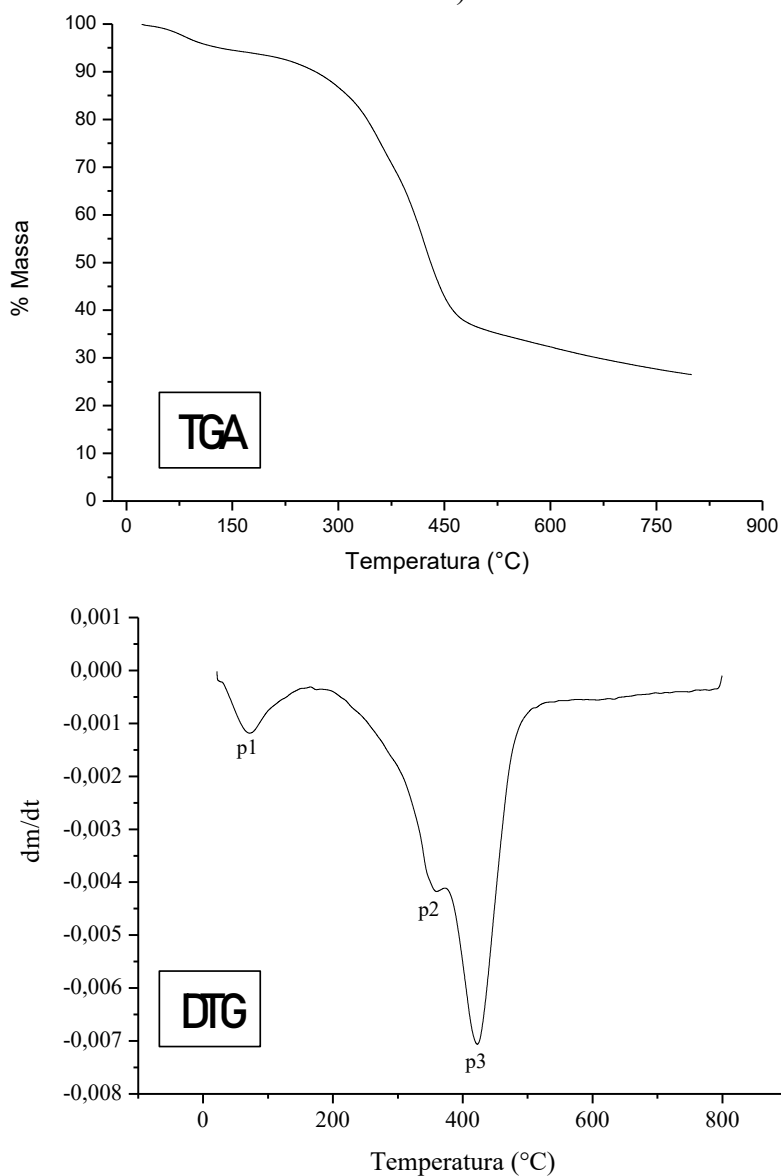
As sementes são matrizes de composição complexa, podendo apresentar diferentes mecanismos de degradação térmica, que podem ocorrer na mesma faixa de temperatura. A análise termogravimétrica permite estimar as temperaturas limitantes ao qual esse material pode ser submetido durante o processamento industrial, de forma a minimizar os processos de degradação térmica.

Os termogramas (TGA) expressos em % de massa em função da temperatura e a correspondente derivada (DTG) (derivada da TGA em  $\text{dm. dt}^{-1}$ ) das sementes de pitaya orgânica (*H. undatus*) são apresentados na Figura 1. Os valores da temperatura inicial ( $T_0$ ),

pico máximo de temperatura ( $T_p$ ) e temperatura final ( $T_c$ ), de cada evento térmico, são apresentados na Tabela 4.

Os estágios de perda de massa podem ser melhores observados quando as curvas TGA são derivadas, obtendo-se os picos de degradação que correspondem à taxa máxima de degradação térmica, conforme observado nas curvas de DTG. Segundo a curva DTG, as sementes de pitaya apresentaram três eventos térmicos de perda de massa: p1, p2 e p3, indicando processos de volatilização e decomposição térmica dos componentes, concluídos a 550 °C e seguido pela carbonização do material (Tabela 4).

Figura 1 – Curvas termogravimétricas TGA-DTG das sementes de pitaya orgânica (*H. undatus*)



Fonte: Elaborado pela autora (2020)

Tabela 4 – Temperaturas de degradação das curvas termogravimétricas (TGA/DTG) das sementes de pitaya orgânica *H. undatus*

Evento	T <sub>0</sub> (°C)	T <sub>p</sub> (°C)	T <sub>c</sub> (°C)
p1	28	68	150
p2	200	357	374
p3	375	423	550

Fonte: Elaborado pela autora, 2021

Nota: Evento - pico de degradação; T<sub>0</sub> - temperatura inicial de degradação; T<sub>p</sub> - temperatura de taxa máxima de degradação T<sub>c</sub> - Temperatura final de degradação.

O primeiro evento de perda de massa (p1) ocorreu em uma faixa de 28 °C a 150 °C, apresentando uma temperatura de taxa máxima de degradação (T<sub>p</sub>) em 68 °C. Esse evento pode ser atribuído à desidratação e evaporação de compostos voláteis de baixa massa molar presentes nas sementes. Comportamento similar foi observado em sementes de amora, framboesa, arônia (chokeberry) e sementes de açaí, o qual foi atribuído pelos autores à processos de evaporação de água e compostos voláteis (ALVES *et al.*, 2020; PIASECKA *et al.*, 2021). De acordo com Henrique *et al.* (2013), a perda de compostos voláteis em alimentos, pode ocorrer em uma faixa de temperatura entre 30 °C a 180 °C, estando, portanto, dentro da faixa de temperatura observada no evento de perda de massa em p1.

O segundo evento de perda de massa (p2), que iniciou a 200 °C pode estar associado ao processo de degradação de proteínas e ácidos graxos presentes na semente de pitaya. De acordo com o estudo de Ricci *et al.* (2018), que avaliaram a degradação térmica de extratos proteicos de leguminosas (grão-de-bico, lentilha, ervilha e feijão), na faixa de temperatura entre 178 °C e 228 °C ocorre a volatilização de fragmentos proteicos, com taxa máxima de perda de massa entre 220 °C e 330 °C, temperaturas estas, similares aos valores observados para o evento p2. Nesta mesma faixa de temperatura, mais especificamente nas temperaturas abaixo de 260 °C, também podem iniciar os processos de degradação dos ácidos graxos poli-insaturados, como o ácido linoléico (C18:2) e linolênico (C18:3) (SENRAYAN; VENKATACHALAM, 2019). Vale destacar que estes ácidos graxos estão presentes em elevada concentração nas sementes de pitaya, conforme reportado em estudos anteriores (ARIFFIN *et al.*, 2009; CHEMAH *et al.*, 2010; LIM *et al.*, 2010). Entre a faixa de temperatura do evento p1 e p2 (120 °C a 230 °C), podem ainda ocorrer processos de degradação de carboidratos, conforme foi reportado por Piasecka *et al.* (2021) para outras sementes de frutas.

É importante destacar que a temperatura de 200 °C, temperatura inicial do processo de decomposição observado no evento p2, pode ser a temperatura limitante para processamento térmico das sementes de pitaya estudadas, uma vez que os ácidos graxos poli-insaturados, devido a sua estrutura química, podem ser os lipídeos mais termossensíveis presentes nessas sementes. A degradação térmica de lipídeos é dependente de sua estrutura química e da sua composição em ácidos graxos, uma vez que quanto maior a cadeia e mais saturada ela for, maior sua estabilidade à temperatura (LI *et al.*, 2015). Isso ocorre porque os ácidos graxos saturados têm maior ponto de fusão quando comparados aos ácidos graxos insaturados (BORUGADDA; GOUD, 2014). Desta forma, na faixa de temperatura que ocorreu o evento de perda de massa p2, pode iniciar a decomposição térmica de ácidos graxos monoinsaturados, se estendendo para p3, onde poderá ocorrer a degradação de ácidos graxos saturados, uma vez que se observa a sobreposição desses dois picos (LI *et al.*, 2015). De acordo com Santos *et al.* (2004) a estabilidade térmica de diversos óleos comerciais indica que na faixa de temperatura entre 200 °C e 380 °C, a perda de massa se deve a degradação de ácidos graxos poli-insaturados, enquanto que entre 380 °C e 480 °C e entre 480 °C e 600 °C ocorre a degradação de ácidos graxos monoinsaturados e saturados, respectivamente.

As fibras (celulose e hemicelulose), bem como, outros carboidratos de alta massa molar e a lignina, também podem sofrer decomposição nas temperaturas relativas aos picos p2 e p3 observados. De acordo com González Martínez *et al.* (2019), a degradação térmica da hemicelulose ocorre entre 250 °C e 320 °C, enquanto a celulose, por ser um polímero com estrutura mais cristalina, degrada a temperaturas maiores (280 °C a 400 °C). Já a lignina, inicia o processo de degradação térmica a 400 °C, temperaturas estas equivalentes às observadas em p2 e p3.

Em estudo com sementes oleaginosas não comestíveis, Shadangi e Morhanty (2014) observaram temperaturas de degradação dos compostos lignocelulósicos próximas ao descrito por González Martínez *et al.* (2019). Em sementes de açaí, a temperatura próxima a 300 °C foi associada a despolimerização e decomposição da hemicelulose e celulose (ALVES *et al.*, 2020), enquanto que em sementes de amora, framboesa e arônia, temperaturas de 300 °C a 500 °C foram associadas a processos de pirólise de carboidratos e lipídeos (PIASECKA *et al.*, 2021). Yang *et al.* (2007), avaliaram o processo de pirólise em hemicelulose, celulose e lignina, e reportaram temperaturas de degradação para esses componentes, que também corroboram com as temperaturas encontradas neste estudo.

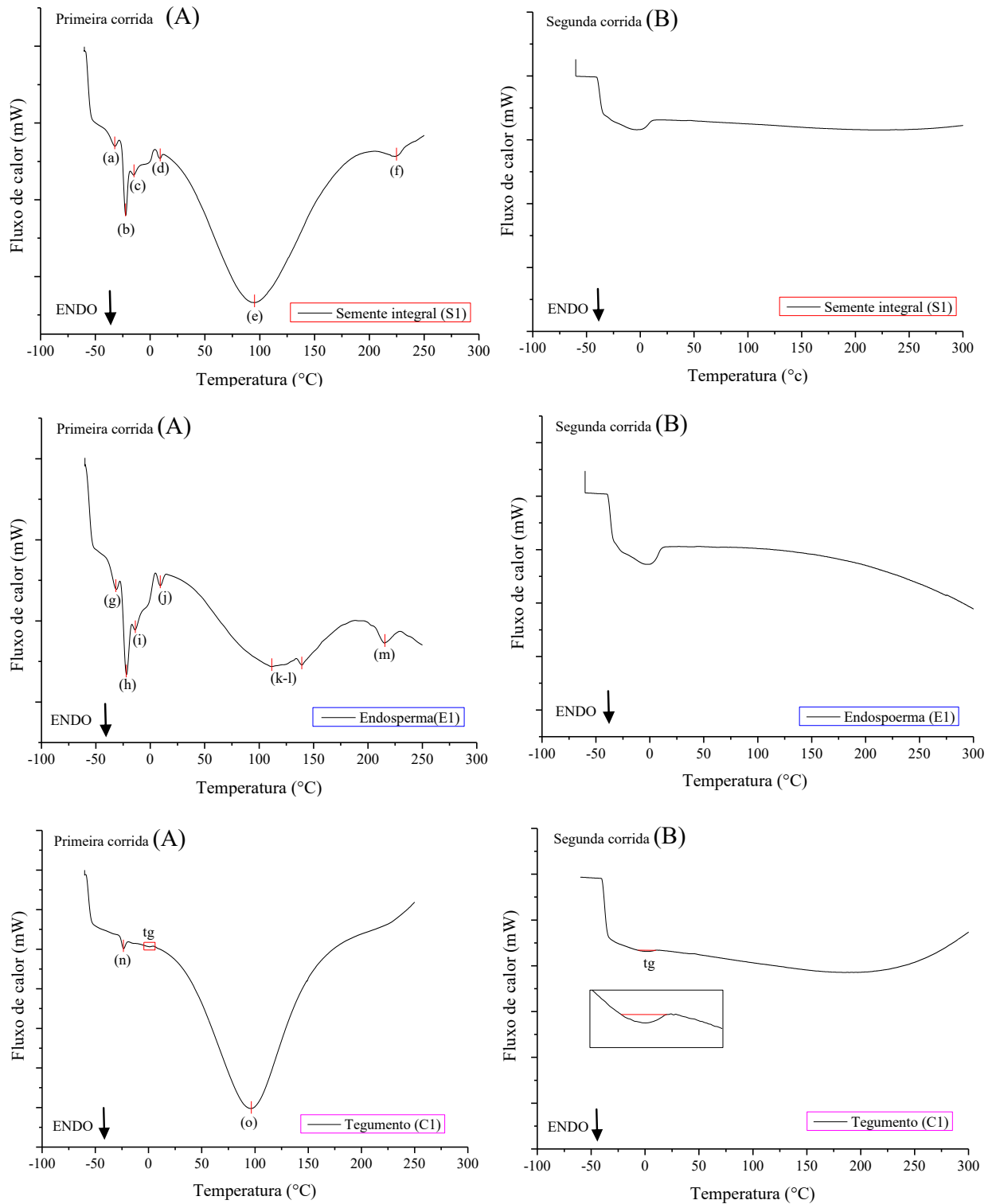
A hemicelulose é constituída por vários sacarídeos (xilose, manose, glicose, galactose etc) com uma estrutura amorfa, randômica, rica em ramificações, que podem degradarem-se a temperaturas mais baixas. Diferentemente, a celulose, que é um polímero de glicose sem ramificações e com estrutura semicristalina, tem maior estabilidade térmica quando comparada a hemicelulose. Por sua vez, a lignina, se caracteriza por apresentar elevada estabilidade térmica, a qual é associada à presença de diversos anéis aromáticos, com várias ramificações em sua estrutura. De acordo com Hernández-Montoya; Montes-Morán e Elizalde-González (2009), a complexidade de materiais lignocelulósicos contribui para a sobreposição nos picos de perda de massa, como observado nesse estudo e reportado por estes autores em estudos com sementes de laranja, limão e toranja.

A curva de TGA (Figura 1) indicou uma massa residual nas sementes, de aproximadamente 25 %. Comportamento similar também foi observado em sementes moídas de amora, framboesa e arônia, quando foi aplicada atmosfera de nitrogênio durante a análise, como neste estudo. Os autores atribuíram a presença desse resíduo a compostos inorgânicos termoestáveis (PIASECKA *et al.*, 2021). Contudo, devido ao elevado teor dessa massa residual, pode haver também a presença de matéria orgânica que não foi completamente degradada, devido às condições analíticas aplicadas.

As sementes são matrizes alimentares de composição complexa, com eventos térmicos, nos quais, os picos de degradação são difíceis de serem associados a um único constituinte. Contudo, a análise termogravimétrica nos permitiu definir os limites de temperatura, indicando que as sementes podem ser submetidas às temperaturas usuais de processamento, prevenindo degradação significativa dos seus compostos mais termossensíveis.

Na Figura 2, são apresentadas as curvas relativas às duas corridas de DSC para sementes de pitaya orgânica (*H. undatus*): integral em pó (S1), tegumento (C1) e endosperma (E1). Os picos endotérmicos (voltados para baixo) indicam transições de primeira ordem, relativas à processos de fusão, enquanto as transições de segunda ordem, como a transição vítrea ( $T_g$ ), são representadas como uma mudança da linha base. As curvas não foram apresentadas com a etapa de resfriamento, pois não foram observados picos exotérmicos durante esse período. Isso pode ter sido a consequência da temperatura de análise ter excedido a temperatura de degradação das sementes, conforme vimos nas análises de TGA. Na Tabela 5, podem ser observadas as temperaturas de transição térmica para cada evento obtido na análise.

Figura 2 – Termogramas das análises em DSC das sementes de pitaya orgânica (*H. undatus*) integral (S1), tegumento (C1) e endosperma (E1)



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Tabela 5 – Temperaturas de transição dos ensaios de DSC das sementes de pitaya orgânica (*H. undatus*) integral (S1), tegumento (C1) e endosperma (E1)

Amostras	Evento	T <sub>0</sub> (°C)	T <sub>p</sub> (°C)	T <sub>c</sub> (°C)	Corrida
S1 e E1	(a), (g)	- 42,0	- 32,0	- 27,2	1
S1, E1 e C1	(b), (h), (n)	- 27,0	- 22,3	- 17,7	1
S1 e E1	(c), (i)	- 17,0	- 13,8	- 4,5	1
S1 e E1	(d), (j)	5,0	9,5	14,0	1
S1	(e)	14,0	95,5	200,5	1
S1	(f)	205,0	223,6	242,0	1
S1	Endo	- 40,0	- 1,0	12,0	2
E1	(k-l)	16,5	111,0 139,0	187,0	1
E1	(m)	197,0	215,0	229,0	1
E1	Endo	- 40,0	- 1,0	12,0	2
C1	(o)	12,0	95,8	205,0	1
C1	Tg	- 1,8	1,0	3,5	1
C1	Tg	- 4,0	1,0	8,5	2

Fonte: Elaborada pela autora (2022)

Nota: evento - picos de transição (a – o); T<sub>0</sub> - temperatura inicial do evento; T<sub>p</sub> - temperatura de pico máximo do evento; T<sub>c</sub> - temperatura final do evento

Além da presença de toda uma estrutura celular, as sementes possuem componentes com estrutura amorfa, semicristalina e cristalina, o que torna difícil a associação entre constituinte e evento térmico observado, uma vez que muitos desses eventos podem ocorrer simultaneamente, se sobrepondo. Separar a casca e o endosperma foi uma estratégia para separar estruturas de composições diferentes, de modo a promover uma melhor visualização dos eventos térmicos. Isso porque, enquanto a casca é constituída majoritariamente por polissacarídeos como celulose, hemicelulose e lignina, podendo ainda, apresentar algum material ceroso, o endosperma tem maior composição de lipídeos, proteínas e amido. Somado a isto, os eventos térmicos de primeira ordem, especialmente processos de fusão, são energeticamente muito elevados, o que dificulta a observação de processos de transição vítrea das regiões amorfas, que são transições de segunda ordem e, portanto, de menor entalpia. Assim, uma estratégia analítica foi realizar dois ciclos de aquecimento/resfriamento, de modo a “apagar” o histórico térmico das amostras, permitindo, desta forma, a observação dos eventos de segunda ordem (transição vítrea).

A curva de DSC da semente integral (S1 - A) evidenciou cinco picos associados a eventos endotérmicos de transição de fase (Figura 2). Os picos (a) a (d) foram os mesmos picos observados no termograma do endosperma (g) a (j) (E1 - A), e o pico (f) foi o mesmo pico (m) do endosperma, este último, com um pequeno deslocamento na temperatura. O pico (e) mostrou-se ser uma sobreposição dos picos (k-l) em E1 e o pico (o) observado no tegumento (C1) (Figura 2, Tabela 5). A análise separada do endosperma e do tegumento, permitiu observar uma transição vítrea ( $T_g$ ) em C1, que não foi claramente detectada no ensaio com a semente integral (S1). Além disso, permitiu identificar a faixa de temperatura de transição de fase dos lipídeos, que se sobrepõem com transições de outros componentes e se prolonga de 14 °C e 205 °C (Tabela 5).

A segunda corrida para S1 e E1 (S1-B e E1-B, Tabela 5) sugere a presença de uma  $T_g$ , com temperatura máxima ( $T_p$ ) a - 1,0 °C, observada por meio de uma mudança na linha base, embora não seja detectada em ambos os ensaios. Isso se deve ao evento endotérmico que ocorreu nesta faixa de temperatura, associado à fusão de algum material cristalino ou semicristalino residual da primeira corrida. A determinação da  $T_g$  é um processo difícil nas análises de DSC, inclusive para substâncias puras, devido à baixa energia envolvida no processo quando comparada a transições de fase de primeira ordem, como a fusão e a cristalização. Em sementes, por terem uma composição altamente complexa, essa determinação se torna ainda mais difícil, conforme relatado por Picou e Boldor (2012), que não conseguiram determinar a  $T_g$  em sementes integrais, obtendo mais sucesso quando a casca e o tegumento foram analisados separadamente, assim como neste estudo.

Os resultados do ensaio de DSC com o endosperma (E1-A) indicaram que, inicialmente, ocorreu o processo de fusão associado aos lipídeos, que compõem uma fração importante nessa parte da semente. Foram observados quatro picos endotérmicos, com temperaturas de pico ( $T_p$ ) que variaram de - 32,0 °C a 9,5 °C (E1-A, Tabela 5), sugerindo que os óleos são líquidos a temperaturas abaixo da temperatura ambiente (25 °C). Isso se deve ao caráter insaturado dos ácidos graxos presentes, que correspondem a 75 % dos ácidos graxos presentes em sementes de pitaya (CHEMAH *et al.*, 2010; LIM *et al.*, 2010; RUI *et al.*, 2009). O primeiro evento endotérmico pode estar associado a fusão da fração de triacilogliceróis, que consistem em ácidos graxos mono e poli-insaturados. Os eventos seguintes, se devem a fusão das frações de média e alta fusão dos triacilogliceróis, que são representadas por ácidos graxos de diferentes estruturas, insaturados e também saturados, como sugerido por Piasecka *et al.* (2021) em ensaios com sementes de amora e framboesa.



Quatro picos endotérmicos com temperaturas similares ao observado em E1 foram também observados em ensaios de DSC com extratos lipídicos de sementes de pitaya *H. undatus* e *H. polihryzus* (LIAOTRAKOON *et al.*, 2013; LIM *et al.*, 2010). Devido à composição das sementes, os autores atribuíram esses picos à transição térmica dos ácidos graxos e triacilglicerol que compõem a fração lipídica dessas sementes. Vale destacar que os ensaios com a fração lipídica, realizado por esses autores, demonstraram transições térmicas em temperaturas inferiores a 10° C. Isso sugere fortemente que os picos de fusão (k-l) obtidos em E1, envolvem a fusão de outros componentes presentes no endosperma da semente como água, proteínas e carboidratos. Em ensaios com sementes e isolados proteicos de ervilha e lentilha, Piasecka *et al.* (2021) e Kashiwagi *et al.* (2002), associaram a transição térmica de carboidratos e a desnaturação proteica, respectivamente, com a faixa de temperatura onde se observa o pico (k-l) de E1. O pico (m), embora apresente um evento térmico, está mais associado ao início da degradação dos componentes da semente, conforme observado nos ensaios de TGA.

O termograma do tegumento (C1-A) apresentou dois eventos endotérmicos, observado por meio do pico (n) com  $T_p$  de  $-23,4^{\circ}\text{C}$  e o pico (o) com  $T_p$  de  $95,8^{\circ}\text{C}$ . Estes picos também foram observados em S1. O pico (n) pode ser decorrente da fusão de quantidades pequenas de cera presentes no tegumento da semente, ou ainda, devido a presença de lipídeos remanescentes do endosperma, que pode ter permanecido no tegumento durante a separação das partes da semente. Além desses picos, foi observada a ocorrência de uma transição vítrea ( $T_g$ ) com  $T_p$  a  $1^{\circ}\text{C}$ , que foi confirmada na corrida 2 (C1-B). Isso indica a presença de constituintes amorfos na casca da semente como a hemicelulose ou as frações de celulose, que passaram por um processo de transição para o estado gomoso.

O segundo pico (o) ocorreu na mesma faixa de temperatura do que os eventos observados nos ensaios E1 (pico e) e S1 (pico k-l). Isto é um indicativo de que componentes da casca passam pela transição térmica na faixa de temperatura dos constituintes do endosperma, como discutido anteriormente. Yang *et al.* (2007), sugerem que transições térmicas em tegumentos de sementes em temperaturas próximas a  $100^{\circ}\text{C}$  podem ser decorrentes de mudanças de fase da água e de compostos voláteis, além de outros constituintes. Essa sobreposição de eventos térmicos não permitiu diferenciar claramente as temperaturas de transição de cada constituinte da semente. As dificuldades de avaliar eventos de transição térmica, envolvendo fibras lignocelulósicas, estão associadas as mudanças de

fase da água durante as medições e à sobreposição de transições envolvendo componentes de celulose, lignina e seus complexos (GONZÁLEZ MARTÍNEZ *et al.*, 2019).

### 3.3 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

A capacidade de retenção de água (CRA), a capacidade de retenção de óleo (CRO) e atividade emulsificante (AE) são propriedades tecnofuncionais importantes para a formulação de novos produtos alimentares, influenciando na qualidade e estabilidade dos produtos finais (DAKHILI *et al.*, 2019). Sua determinação é imprescindível para explicar as interações entre componentes, estrutura, propriedades físico-químicas e natureza do ambiente ou matriz alimentar (MALLEK-AYADI; BAHLOUL; KECHAOU, 2017). Uma vez que estudos com sementes de pitaya não foram encontrados para fins de comparação, buscamos uma variedade de sementes e grãos para comparar aos resultados encontrados neste estudo.

As sementes de pitaya apresentaram CRA igual a  $1,53 \pm 0,07 \text{ gH}_2\text{O.gss}^{-1}$  e índice de solubilidade (SI) de  $0,01 \text{ gss.gH}_2\text{O}^{-1}$ . Isso significa que, embora tenha baixa solubilidade, as sementes de pitaya possuem a capacidade de reter 153 % da sua massa em água. Esse valor foi similar ao observado em sementes de seis variedades de quinoa e sementes de ervilha (1,44 g a 1,80 g) (PELLEGRINI *et al.*, 2018; STONE *et al.*, 2021) e superior ao reportado para sementes de moringa olifera (1,03 g) (MUNE *et al.*, 2016), castanha do Brasil (0,70 g), sementes de caju (0,96 g), avelã (1,12 g), macadâmia (0,66 g), noz-pecã (1,19 g), pistache (1,45 g), noz (1,26 g), amendoim (1,12 g) e arroz (1,26 g). Contudo, foi inferior ao relatado para grão-de-bico (2,3 g), soja (2,97 g) e trigo (1,87 g) (JOSHI; LIU; SATHE, 2015).

Segundo Mune *et al.* (2016) e Maldonado-Torres *et al.* (2020), a presença de elevado teor de proteínas, a presença de resíduos de aminoácidos polares e a composição de carboidratos são os principais fatores que promovem o aumento da CRA em alimentos, bem como, em sementes. Somado a isso, a presença de polissacarídeos, como fibras e mucilagem, influenciou a CRA por sua capacidade de intumescer (AIDER; BARBANA, 2011). Em estudos realizados com sementes, *in natura* e tratadas termicamente, de canola, soja e linhaça, Khattab e Arntfield (2009) atribuíram as diferenças nos valores de CRA entre as sementes à composição de polissacarídeos, às características conformacionais das proteínas e ao processo de geleificação. Os valores de CRA encontrados nas sementes de pitaya em pó indicam que, poderiam ser empregadas como ingredientes alimentares em produtos com elevado teor de água em que a separação de fases é indesejada.

A CRO de um componente alimentar é um importante parâmetro para a utilização na indústria de alimentos. Ingredientes com essa funcionalidade podem ser aplicados em emulsões cárneas, como salsichas, por exemplo, com a finalidade de reter a gordura e evitar a separação de fases. Além de aumentar o rendimento, reduzindo a perda de componentes durante o cozimento, estes ingredientes atuam como retentores e intensificadores de sabor (AIDER; BARBANA, 2011; MALLEK-AYADI; BAHLOUL; KECHAOU, 2017).

As sementes de pitaya apresentaram valor de CRO de  $0,89 \pm 0,07 \text{ gO.gss}^{-1}$ . Esses resultados indicam que, embora as sementes de pitaya sejam capazes de reter 89 % de sua massa em óleo, apresentam maior afinidade pela água. Valor de CRO similar foi reportado para quinoa real boliviana preta (PELLEGRINI *et al.*, 2018). Contudo, as sementes de pitaya apresentaram CRO superior ao reportado para arroz (0,75 g) e valor inferior ao reportado para sementes de chia (1,6 e 2,03 g), grão-de-bico, lentilha e ervilha (~2,0 g) (CAPITANI *et al.*, 2012; JOSHI; LIU; SATHE, 2015; STONE *et al.*, 2021). Conforme Capitani *et al.* (2012) e Aider e Barbana (2011), a presença de elevado teor de óleo em uma matriz alimentar, reduz a CRO, que tende a reduzir quanto maior for a CRA. Vale destacar que as sementes de pitaya apresentaram elevado teor de lipídeos (30 %), bem como, maior CRA quando comparada à CRO, indicando que esses fatores podem ter afetado negativamente a sua CRO. Além disso, a CRA pode ser afetada pelo teor proteico e a presença de aminoácidos não polares ou domínios hidrofóbicos de proteínas, que quando expostos (favorecido pela desnaturação), podem estabelecer interações hidrofóbicas, aumentando a retenção de óleo (MALDONADO-TORRES *et al.*, 2020).

Embora seja comum em sementes, a atividade emulsificante não foi observada nas sementes de pitaya aqui estudadas, tampouco foram encontrados estudos para fins de comparação.

### 3.4 ISOTERMAS DE ADSORÇÃO DE UMIDADE

A isoterma de adsorção de umidade descreve a relação entre a atividade da água ( $a_w$ ) e o teor de umidade de equilíbrio ( $X_e$ ) de uma matriz alimentar a uma pressão e temperatura constantes. As Figuras 3 e 4 apresentam as curvas experimentais de  $X_e$  em função da  $a_w$ , na temperatura de 25 °C, para as sementes de pitaya em pó e as sementes de pitaya inteiras (*H. undatus*), respectivamente. Os dados experimentais representam a média de três repetições para  $X_e$ , cujo desvio padrão de cada ponto experimental encontrou-se dentro da faixa de

0,0003 a 0,0008 gH<sub>2</sub>O.100gss<sup>-1</sup>. As linhas contínuas representam os ajustes dos modelos selecionados.

As isotermas das sementes de pitaya em pó e sementes inteiras apresentaram formato sigmóide, típica forma S ou Tipo II, de acordo com a classificação de Brunauer (BRUNAUER *et al.*, 1940) (Figuras 3 e 4). A forma não linear e geralmente sigmóide descreve o comportamento das isotermas da maioria dos alimentos (AVIARA, 2020; LABUZA; ALTUNAKAR, 2007) e foi relatada para isotermas de quinoa (BUSTOS-VANEGAS *et al.*, 2018), semente de pimenta Cumari-do-Pará (RODRIGUES *et al.*, 2020), semente de cártamo (BARATI; ZARE; ZOMORODIAN, 2016) e oleaginosas (LAZOUK *et al.*, 2015), corroborando com os resultados obtidos no presente estudo, a despeito da ausência de dados com sementes de pitaya para fins de comparação.

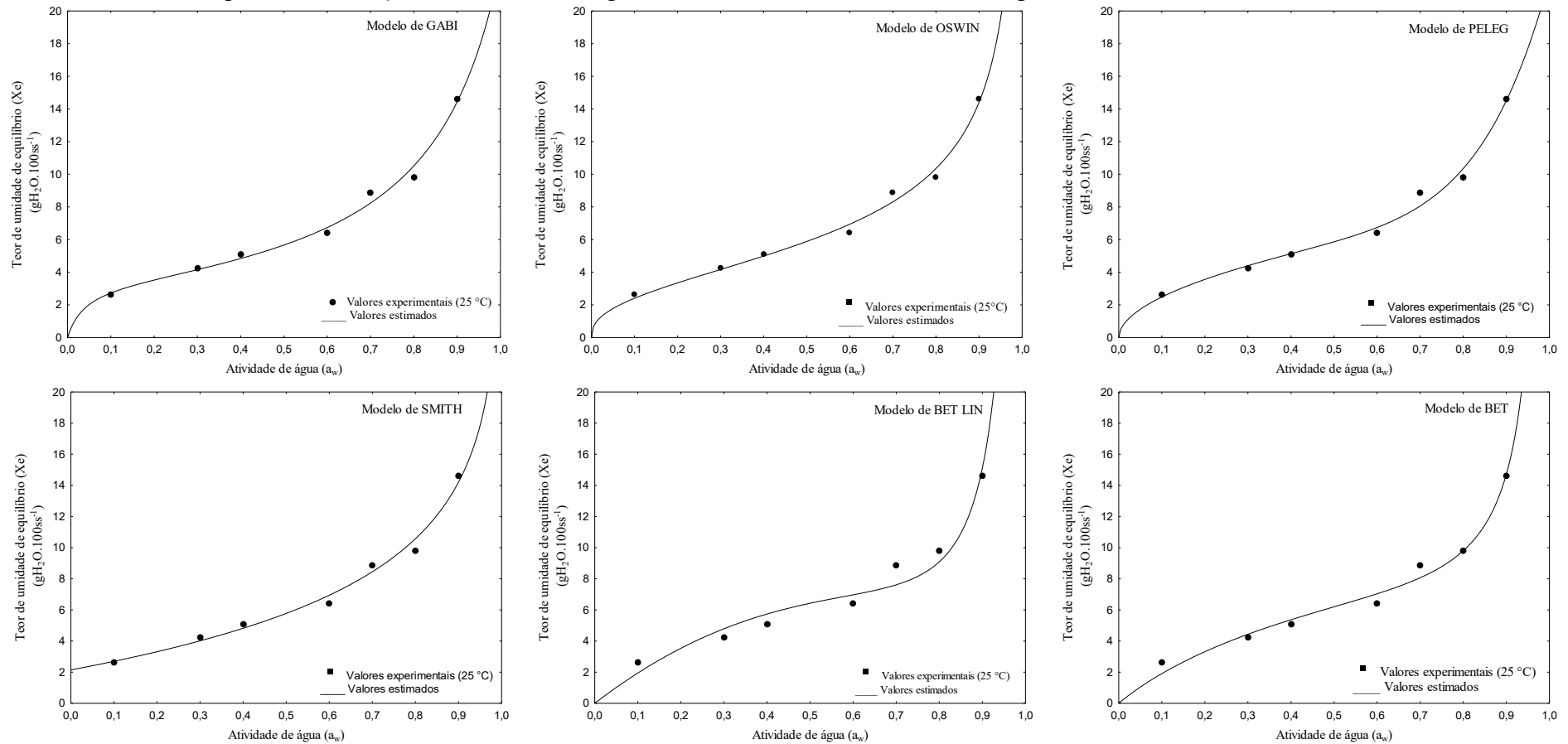
Tanto para as sementes de pitaya em pó, quanto para as sementes inteiras, foi observado o aumento na X<sub>e</sub> conforme houve o aumento na a<sub>w</sub> (Figuras 3 e 4; Tabela 6), comportamento este que caracteriza materiais de natureza higroscópica, corroborando com os resultados de CRA, descrito para sementes em pó. Comportamento similar foi observado para chia, pinhão, semente de girassol, quinoa e avelã (ARSLAN-TONTUL, 2020; BARATI; ZARE; ZOMORODIAN, 2016; BUSTOS-VANEGAS *et al.*, 2018; JUNG *et al.*, 2018; THYS *et al.*, 2010). Este efeito é causado pelo aumento da pressão de vapor circundante, que forma um gradiente de pressão de vapor entre o material e o ambiente, o que leva ao aumento da pressão interior do alimento, elevando a adsorção de umidade (BARATI; ZARE; ZOMORODIAN, 2016).

Os valores de X<sub>e</sub> foram estatisticamente inferiores para as sementes de pitaya inteiras em relação as sementes em pó, para todas as a<sub>w</sub> (Tabela 6). Essa maior absorção de água, observada nas sementes em pó, pode estar relacionada ao aumento da área superficial de adsorção e da capilaridade, devido o fracionamento das sementes e a exposição de componentes, como carboidratos e proteínas, que estavam anteriormente presentes no interior das mesmas. Na a<sub>w</sub> 0,9 (valor de a<sub>w</sub> mais elevado analisado), a X<sub>e</sub> foi de 12,4 gH<sub>2</sub>O.100gss<sup>-1</sup> e de 14,6 gH<sub>2</sub>O.100gss<sup>-1</sup> sendo, portanto, a maior quantidade de água absorvida pelas sementes de pitaya em pó e sementes de pitaya inteiras na temperatura de 25 °C, respectivamente. Em sementes de chia o valor de X<sub>e</sub> observado (18-20g) foi superior ao obtido nesse estudo, para ambas as sementes (ARSLAN-TONTUL, 2020), enquanto que para sementes de uva o valor de X<sub>e</sub> foi inferior (9,51g) (BOGOEVA; DURAKOVA, 2020). As propriedades de adsorção de umidade em alimentos, além de serem influenciadas pela pressão e umidade relativa, são

afetadas pela composição, estrutura físico-química e higroscopicidade do alimento, bem como, pela temperatura (LABUZA; ALTUNAKAR 2007), fazendo com que a isoterma seja específica para cada alimento, dentro de cada condição estudada.

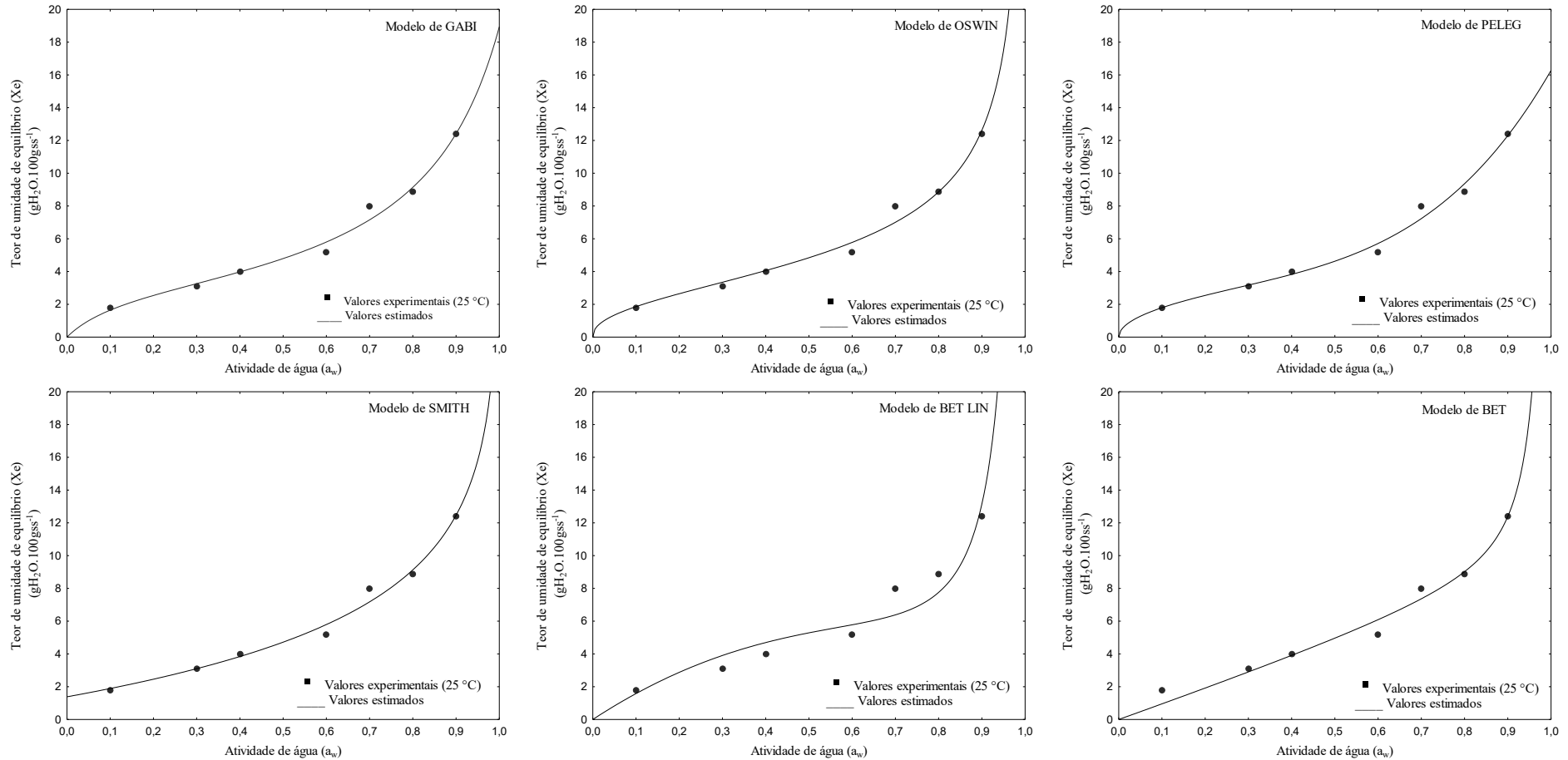
As sementes em pó apresentaram valores de  $X_e$  estatisticamente superiores aos das sementes inteiras, para todas as  $a_w$  e a relação de adsorção de água entre as sementes foi diferente para cada  $a_w$  (Tabela 6). Quanto maior foi a  $a_w$ , ou seja, quanto maior foi a pressão parcial de vapor no ambiente da isoterma, menor foi a diferença na relação de água absorvida pelas sementes, exceto quando a  $a_w$  foi de 0,9. Enquanto na  $a_w$  0,1 as sementes de pitaya em pó absorveram 45 % mais de água em relação a semente inteiras, na  $a_w$  0,8 a diferença foi de apenas 10 %. Isso sugere que em ambientes de maior umidade relativa, as sementes inteiras têm comportamento similar quanto a absorção de água em comparação às sementes em pó, mesmo tendo a casca como uma barreira inicial, menor área superficial de contato com o ambiente e tendo a maior parte dos componentes com afinidade por água, no seu interior.

Figura 3 – Gráficos das isotermas de adsorção a 25 °C, das sementes de pitaya orgânica **em pó** (*H. undatus*) com os ajustes de teor de umidade de equilíbrio em função da atividade de água dos modelos de Gabi, Oswin, Peleg, Smith e BET linearizado e BET



Fonte: Elaborado pela a autora (2021)

Figura 4 – Gráficos das isotermas de adsorção a 25 °C, das sementes de pitaya orgânica **inteiras** (*H. undatus*) com os ajustes de teor de umidade de equilíbrio em função da atividade de água dos modelos de Gabi, Oswin, Peleg, Smith e BET linearizado e BET



Fonte: Elaborado pela a autora (2021)

Tabela 6 – Média do teor de umidade de equilíbrio ( $X_e$ ) e relação da absorção de água para as sementes de pitaya orgânicas inteiras e sementes de pitaya orgânicas em pó (*H. undatus*)

$a_w$	$X_e$ (gH <sub>2</sub> O.100gss <sup>-1</sup> )		
	Semente inteira	Semente em pó	Proporção de absorção (pó em relação à inteira)
0,1	1,8 ± 0,29 <sup>a</sup>	2,6 ± 0,04 <sup>b</sup>	45 %
0,3	3,1 ± 0,07 <sup>a</sup>	4,3 ± 0,07 <sup>b</sup>	40 %
0,4	4,0 ± 0,19 <sup>a</sup>	5,1 ± 0,02 <sup>b</sup>	28 %
0,6	5,2 ± 0,08 <sup>a</sup>	6,4 ± 0,05 <sup>b</sup>	23 %
0,7	8,0 ± 0,07 <sup>a</sup>	8,9 ± 0,08 <sup>b</sup>	11 %
0,8	8,9 ± 0,09 <sup>a</sup>	9,8 ± 0,04 <sup>b</sup>	10 %
0,9	12,4 ± 0,03 <sup>a</sup>	14,6 ± 0,08 <sup>b</sup>	22 %

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )

Seis modelos matemáticos GAB; PELEG; BET Linearizado; BET; Smith e Oswin (Figuras 3 e 4), foram selecionados e ajustados aos dados experimentais para descreverem o comportamento das isotermas de adsorção das sementes de pitaya em pó e inteiras. Os parâmetros ajustados desses modelos e os respectivos parâmetros de avaliação da qualidade dos ajustes,  $R^2$ , SDE, MRE e distribuição residual, são apresentados na Tabela 7.

Os modelos de GAB e Oswin e os modelos de PELEG, GAB e Smith poderiam ser aplicados para descrever as isotermas das sementes de pitaya em pó e sementes de pitaya inteiras, respectivamente. Isso porque ambos os modelos apresentaram  $R^2 > 0,99$ ; SDE < 1 %, MRE < 10 % e distribuição aleatorizada dos resíduos. Contudo, o modelo de GAB foi o que melhor descreveu os dados experimentais no processo de adsorção de umidade em ambas as sementes (Figuras 3 e 4; Tabela 7).

GAB é um modelo Semiempírico importante e amplamente aceito para descrever isotermas de uma diversidade de alimentos (AL-GHAMDI *et al.*, 2020; EDRISI SORMOLI; LANGRISH, 2015; LAZOUK *et al.*, 2015; MAJID; HUSSAIN; NANDA, 2019; VERRUCK *et al.*, 2018) e o modelo Oswin tem mostrado bons resultados para descrever isotermas de adsorção de umidade de sementes (BARATI *et al.*, 2016; BOTELHO *et al.*, 2019; MIRANDA *et al.*, 2012), fazendo com que o mesmo tenha sido adotado como modelo padrão pela *American Society of Agricultural and Biological Engineers* (ASABE) (AVIARA, 2020).



Tabela 7 – Parâmetros preditos dos modelos ajustados aos dados experimentais para isoterma de adsorção de umidade de sementes pitaya orgânica em pó e sementes pitaya orgânica inteiras (*H. undatus*)

Modelos	<u>SEMENTE EM PÓ</u>					<u>SEMENTE INTEIRA</u>				
	Coeficientes dos modelos (25°C)	Qualidade do ajuste dos parâmetros				Coeficientes dos modelos (25°C)	Qualidade do ajuste dos parâmetros			
		R <sup>2</sup>	SDE (% b.s.)	MRE (%)	Distribuição residual		R <sup>2</sup>	SDE (% b.s.)	MRE (%)	Distribuição residual
GAB	3,401; X <sub>m</sub> 0,852; K 29,527; C	0,994	0,539	4,605	Randômica	3,189; X <sub>m</sub> 9,831; K 0,835; C	0,993	0,544	5,615	Randômica
PELEG	8,238; K <sub>1</sub> 13,715; K <sub>2</sub> 0,521; n <sub>1</sub> 13,781; n <sub>2</sub>	0,994	0,620	4,344	Tendenciosa	5,607; K <sub>1</sub> 10,667; K <sub>2</sub> 0,495; n <sub>1</sub> 4,031; n <sub>2</sub>	0,993	0,609	4,636	Randômica
BET Linearizado (camadas infinitas)	0,071; X <sub>m</sub> 0,782; C	0,981	0,875	12,060	Randômica	0,077; X <sub>m</sub> 16,949; C	0,964	1,095	15,116	Tendenciosa
BET camadas finitas	33,109; X <sub>m</sub> 1,492; C 0,829; n	0,991	0,648	8,052	Tendenciosa	24,691; X <sub>m</sub> 0,024; C 14,473; n	0,988	0,703	11,723	Tendenciosa
Smith	2,147; A 5,236; B	0,993	0,527	5,418	Tendenciosa	1,385; A 4,812; B	0,993	0,473	4,834	Randômica
Oswin	5,887; A 0,407; B	0,995	0,454	4,867	Randômica	4,8441; A 0,4357; B	0,991	0,537	5,511	Tendenciosa

Elaborado pela autora (2021)

Nota: X<sub>m</sub>, K<sub>1</sub> e A equivalem a umidade em monocamada (gH<sub>2</sub>O.100gss<sup>-1</sup>); K<sub>2</sub>, = gH<sub>2</sub>O.100gss<sup>-1</sup>; C (BET), n, n<sub>1</sub> e n<sub>2</sub> adimensionais; C= Constante de Guggenheim de GAB (relacionada ao calor de sorção); K = relacionado ao calor de sorção na multicamada de GAB; B equivale a K de GAB.

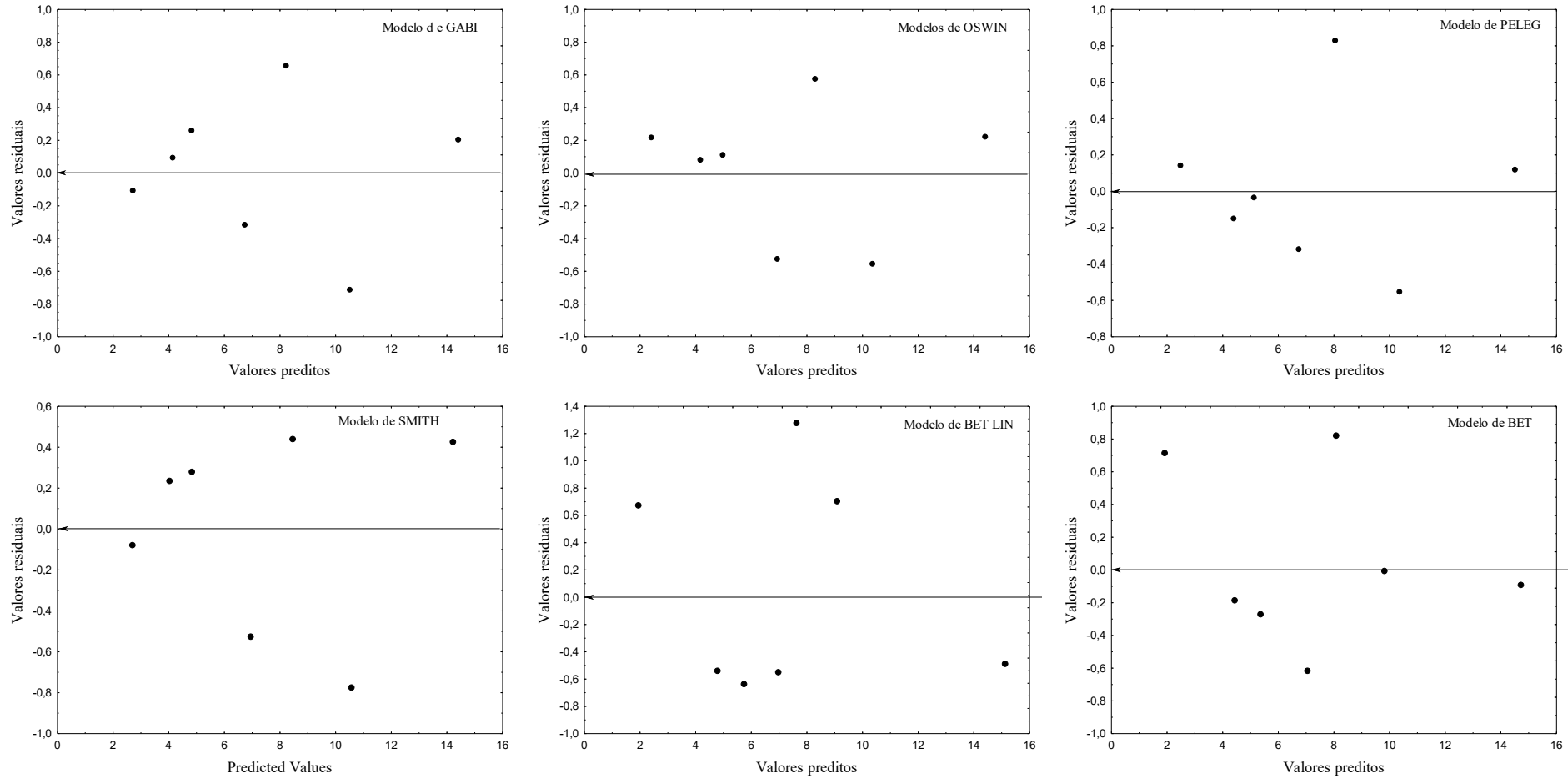
O teor de umidade na monocamada ( $X_m$ ) é um parâmetro importante para projetar sistemas de embalagens e definir condições de armazenamento que reduzam as alterações físico-químicas nos alimentos, como processos de deterioração, oxidação, escurecimento, perda de crocância, entre outros, ampliando sua vida da prateleira (ARSLAN-TONTUL, 2020). O parâmetro  $X_m$  descrito pelo modelo de GAB representa o teor de umidade em monocamada, correspondendo à fração de massa de água absorvida no material na forma de monocamada. Nesse estudo, o valor determinado para  $X_m$  foi de  $3,4 \text{ gH}_2\text{O} \cdot 100\text{gss}^{-1}$  para as sementes em pó e de  $3,2 \text{ gH}_2\text{O} \cdot 100\text{gss}^{-1}$  para as sementes inteiras (Tabela 7). Valores aproximados de  $X_m$  a esse estudo foram reportados para colza ( $3,0 \text{ gH}_2\text{O} \cdot 100\text{gss}^{-1}$ ), chia ( $2,91 \text{ gH}_2\text{O} \cdot 100\text{gss}^{-1}$ ) e avelã ( $2,17 - 2,52 \text{ gH}_2\text{O} \cdot 100\text{gss}^{-1}$ ) (ARSLAN-TONTUL, 2020; JUNG *et al.*, 2018; LAZOUK *et al.*, 2015).

Para avaliar a qualidade do ajuste dos modelos aos dados experimentais, uma análise recomendada é a análise de dispersão dos resíduos. Isso porque, mesmo quando os parâmetros estatísticos indicaram bons resultados ( $R^2 > 0,99$ ;  $\text{SDE} < 1 \%$  e  $\text{MRE} < 10 \%$ ), o modelo pode apresentar uma distribuição de resíduos tendenciosa. Assim, o modelo selecionado deve apresentar os valores residuais em torno de zero e não apresentar distribuição tendenciosa (CAMPOS *et al.*, 2019).

Nas Figuras 5 e 6 são apresentados os gráficos da distribuição dos resíduos dos ensaios de isoterma de adsorção para as sementes de pitaya em pó e sementes de pitaya inteiras, respectivamente, dos seis modelos selecionados. A distribuição de resíduos consiste na diferença entre os valores observados e os valores estimados pelos modelos em função dos valores preditos.

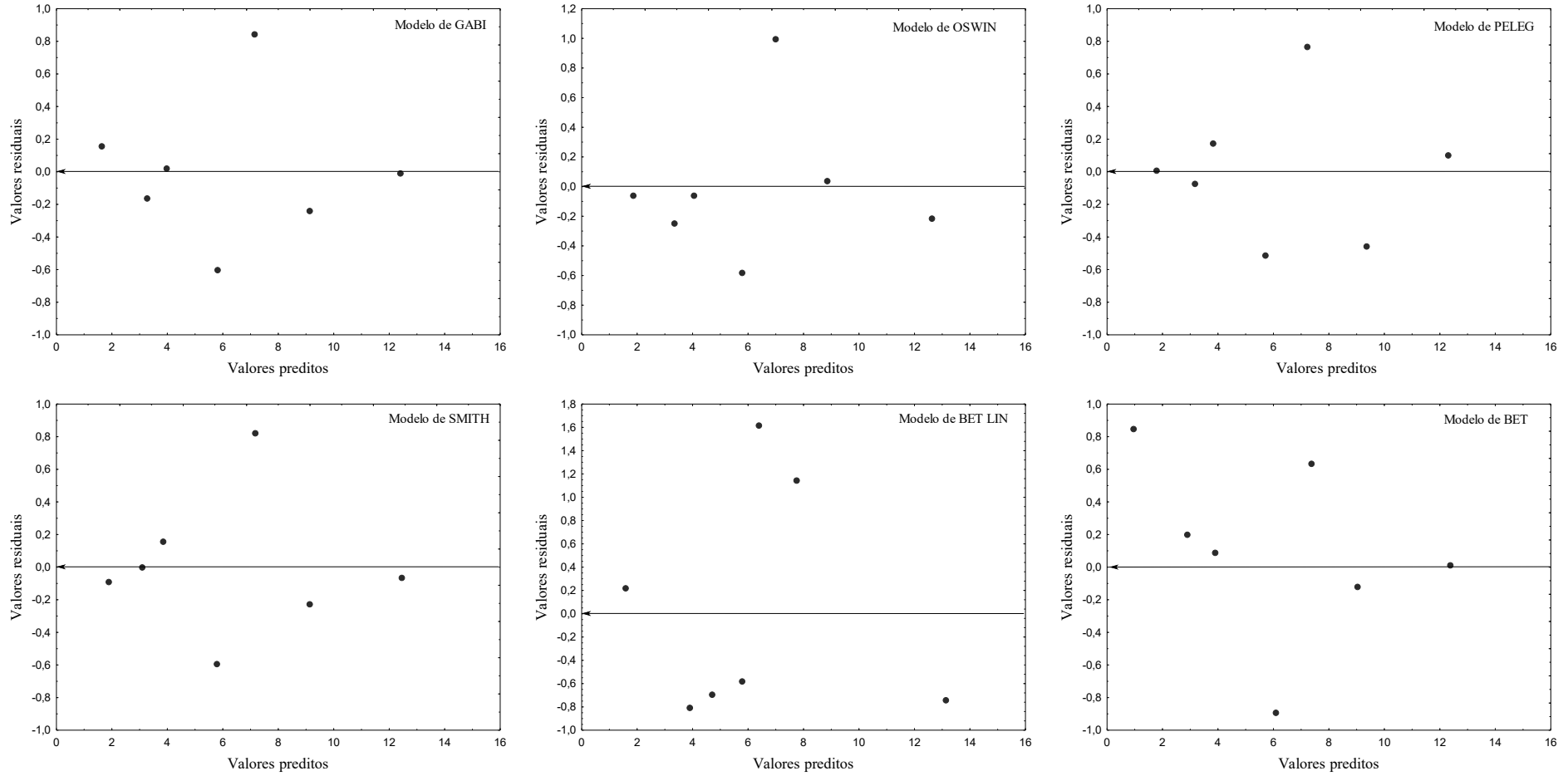
Uma vez que GAB foi considerado o modelo mais adequado para descrever as isotermas de sementes de pitaya em pó e inteiras, a análise dos resultados para os ajustes deste modelo apresentou valores residuais em torno do zero e distribuição aleatória dos mesmos, confirmando que este modelo descreve, de forma satisfatória, o comportamento das isotermas de adsorção de umidade para estas sementes, dentro das condições estudadas.

Figure 5 – Gráficos da tendência da distribuição dos resíduos para os modelos de Gabi, Oswin, Peleg, Smith e BET e BET linearizado em função dos valores preditos da isoterma de adsorção de umidade de sementes de pitaya orgânica **em pó** (*H. undatus*)



Fonte: Elaborado pela autora (2020)

Figure 6 – Gráficos da tendência da distribuição dos resíduos para os modelos de Gabi, Oswin, Peleg, Smith e BET e BET linearizado em função dos valores preditos da isoterma de adsorção de umidade de sementes de pitaya orgânica *inteira* (*H. undatus*)



Fonte: Elaborado pela autora (2020)

#### 4. CONCLUSÃO

As sementes apresentaram elevados teores de macronutrientes, como proteínas, lipídeos e fibras alimentares, com destaque para as fibras insolúveis. As propriedades tecnológicas mostraram que as sementes de pitaya têm a capacidade de reter 153 % e 89 % da sua massa em água e em óleo, respectivamente, destacando seu comportamento higroscópico. Os ensaios térmicos indicaram que as sementes de pitaya podem ser submetidas às temperaturas usuais de processamento, sem que haja mudanças significativas dos seus compostos. As isotermas corroboraram a natureza higroscópica das sementes, apresentando os valores de  $X_e$  de  $14,6 \text{ gH}_2\text{O} \cdot 100\text{gss}^{-1}$  e  $12,4 \text{ gH}_2\text{O} \cdot 100\text{gss}^{-1}$  para as sementes em pó e sementes inteiras, respectivamente. Dentre os modelos selecionados, GABI foi o que melhor descreveu as isotermas das sementes de pitaya, apresentando um valor de monocamada calculado similar para ambas as sementes ( $\sim 3,4 \text{ gH}_2\text{O} \cdot 100\text{gss}^{-1}$ ).

Este trabalho foi pioneiro na literatura científica, onde foram exploradas as potencialidades tecnológicas das sementes de pitaya (*H. undatus*). Demonstramos seus elevados teores de proteínas e carboidratos, associados a capacidades de retenção de água e óleo, ambos interessantes para incorporação em matrizes alimentares. Somado a isso, os perfis térmicos confirmam a adequação da matéria-prima para as condições usuais de processamento térmico em alimentos. Assim e, orientada pelos ideais de sustentabilidade, apontamos o grande potencial deste até então considerado “resíduo” para a utilização como ingrediente. Sendo este, portanto, um potencial subproduto funcional, tanto nutricionalmente, quanto tecnologicamente para a indústria de alimentos.

## REFERÊNCIA

- AIDER, M.; BARBANA, C. Canola proteins: Composition, extraction, functional properties, bioactivity, applications as a food ingredient and allergenicity - A practical and critical review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 22, n. 1, p. 21–39, 2011.
- AL-GHAMDI, S. *et al.* State diagram, water sorption isotherms and color stability of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 273, p. 109820, 2020.
- ALVES, J. L. F. *et al.* Exploring Acai Seed (*Euterpe oleracea*) Pyrolysis Using Multi-component Kinetics and Thermodynamics Assessment Towards Its Bioenergy Potential. **Bioenergy Research**, v. 14, p. 209–225, 2020.
- ANGONESE, M. *et al.* Organic dragon fruits ( *Hylocereus undatus* and *Hylocereus polyrhizus* ) grown at the same edaphoclimatic conditions : Comparison of phenolic and organic acids profiles and antioxidant activities. **LWT - Food Science and Technology**, v. 149, 2021.
- AOAC. Association of official analytical chemists. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists** (16.ed.) Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists, 1995
- ARIFFIN, A. A. *et al.* Essential fatty acids of pitaya (dragon fruit) seed oil. **Food Chemistry**, v. 114, n. 2, p. 561–564, 2009.
- ARSLAN-TONTUL, S. Moisture sorption isotherm, isosteric heat and adsorption surface area of whole chia seeds. **LWT - Food Science and Technology**, n. 119, p. 108859, 2020.
- AVIARA, N. A. Moisture Sorption Isotherms and Isotherm Model Performance Evaluation for Food and Agricultural Products. In: KYZAS, G. (Ed.). . **Sorption in 2020s**. [s.l.] IntechOpen, 2020. p. 145.
- BANERJEE, J. *et al.* Bioactives from fruit processing wastes : Green approaches to valuable chemicals. **Food Chemistry**, v. 225, p. 10–22, 2017.
- BARATI, M.; ZARE, D.; ZOMORODIAN, A. Moisture sorption isotherms and thermodynamic properties of safflower seed using empirical and neural network models. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 10, p. 236–246, 2016.
- BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. *et al.* **Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications**. 1. ed. USA: John Wiley & Sons, 2007.
- BENÍTEZ, R. O. **Perdas e desperdícios de alimentos na América Latina e no Caribe**. [s.l.: s.n.]. Disponível em:  
<<https://www.fao.org/americas/noticias/ver/pt/c/239394/>>.
- BOGOEVA, A. L.; DURAKOVA, A. G. Sorption characteristics of full-fatted grape

seedsflour of Bulgarian origin. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 2, p. 100026, 2020.

BORUGADDA, V. B.; GOUD, V. V. Thermal, oxidative and low temperature properties of methyl esters prepared from oils of different fatty acids composition: A comparative study. **Thermochimica Acta**, v. 577, p. 33–40, 2014.

BOTELHO, F. *et al.* Sorption isotherms of Brazil nuts. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 10, p. 776–781, 2019.

BRUNAUER, S. *et al.* On a theory of the van der Waals adsorption of gases. **Journal of the American Chemical Society**, v. 62, n. 7, p. 1723–1732, 1940.

BRUNAUER, S.; EMMETT, P. H.; TELLER, E. Adsorption of Gases in Multimolecular Layers. **Journal of the American Chemical Society**, v. 60, n. 2, p. 309–319, 1938.

BUSTOS-VANEGAS, J. D. *et al.* Moisture sorption isotherms of quinoa seeds: Thermodynamic analysis. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 6, p. 941–950, 2018.

CAMPOS, R. C. *et al.* Moisture sorption isotherms of sunflower seeds: Thermodynamic analysis. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 43, p. 1–12, 2019.

CAPITANI, M. I. *et al.* Physicochemical and functional characterization of by-products from chia ( *Salvia hispanica* L .) seeds of Argentina. **LWT - Food Science and Technology**, v. 45, p. 94–102, 2012.

CHEMAH, T. C. *et al.* Determination of pitaya seeds as a natural antioxidant and source of essential fatty acids. **International Food Research Journal**, v. 17, n. 4, p. 1003–1010, 2010.

DAKHILI, S. *et al.* Quinoa protein: Composition, structure and functional properties. **Food Chemistry**, v. 299, n. July, p. 125161, 2019.

DIAS, J. L. *et al.* Extraction of umbu (*Spondias tuberosa*) seed oil using CO<sub>2</sub>, ultrasound and conventional methods: Evaluations of composition profiles and antioxidant activities. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 145, n. September 2018, p. 10–18, 2019.

EDRISI SORMOLI, M.; LANGRISH, T. A. G. Moisture sorption isotherms and net isosteric heat of sorption for spray-dried pure orange juice powder. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 875–882, 2015.

ENNOURI, M. *et al.* Fatty acid composition and rheological behaviour of prickly pear seed oils. **Food Chemistry**, v. 93, n. 3, p. 431–437, 2005.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos; Princípios e Práticas**, 2<sup>o</sup> edição, 2006, 602 p.

FRANCISCO, F. G.; USBERTI, R.; TONELI, J. T. D. C. L. Ajuste de isothermas de sorção de sementes de cultivares de feijoeiro. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 1, p. 35–39, 2007.

FREITAS, S. C. *et al.* **Documento 94: Procedimento operacional padrão para determinação de fibras solúvel e insolúvel**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2008. 32p.

#### REFERÊNCIAS

GONZÁLEZ MARTÍNEZ, M. *et al.* Detailed structural elucidation of different lignocellulosic biomass types using optimized temperature and time profiles in fractionated Py-GC/MS. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 140, n. March, p. 112–124, 2019.

HENRIQUE, M. A. *et al.* Valorization of an agro-industrial waste, mango seed, by the extraction and characterization of its cellulose nanocrystals. **Journal of Environmental Management**, v. 121, p. 202–209, 2013.

HERNÁNDEZ-MONTOYA, V.; MONTES-MORÁN, M. A.; ELIZALDE-GONZÁLEZ, M. P. Study of the thermal degradation of citrus seeds. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, n. 9, p. 1295–1299, 2009.

HUA, Q. *et al.* Plant Physiology and Biochemistry Metabolomic characterization of pitaya fruit from three red-skinned cultivars with different pulp colors. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 126, n. September 2017, p. 117–125, 2018.

IAL. Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed., 1. ed. digital. São Paulo, 2008

JIANG, H. *et al.* Nutrition, phytochemical profile, bioactivities and applications in food industry of pitaya (*Hylocereus* spp.) peels: A comprehensive review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 116, p. 199–217, out. 2021.

JOSHI, A. U.; LIU, C.; SATHE, S. K. Functional properties of select seed flours. **LWT - Food Science and Technology**, v. 60, n. 1, p. 325–331, 2015.

JUNG, J. *et al.* Moisture Adsorption Isotherm and Storability of Hazelnut Inshells and Kernels Produced in Oregon, USA. **Journal of Food Science**, v. 83, n. 2, p. 340–348, 2018.

KALETUNÇ, Gönül (1 ed.). **Calorimetry in food processing: analysis and design of food systems**. Hong Kong: Wiley-Blackwell, 2009. 414 p.

KASHIWAGI, T. *et al.* Crystal structure of microbial transglutaminase from *Streptoverticillium mobaraense*. **Journal of Biological Chemistry**, v. 277, n. 46, p. 44252–44260, 2002.

KINSELLA, J. E. Functional properties of proteins in foods: A survey. **C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 7, n. 3, p. 219–280, 1976.



LABUZA, Theodore P.; ALTUNAKAR, Bilge. Water activity prediction and moisture sorption isotherms. In: Barbosa-Cánovas, Gustavo V. *et al* (ed.). **Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications**. USA: John Wiley & Sons, 2007. Cap. 5. p. 109-131.

LAZOUK, M. A. *et al*. Oilseeds sorption isotherms, mechanical properties and pressing: Global view of water impact. **Journal of Food Engineering**, v. 153, p. 73–80, 2015.

LI, H. Z. *et al*. Optimization of ultrasound-assisted hexane extraction of perilla oil using response surface methodology. **Industrial Crops and Products**, v. 76, p. 18–24, 2015.

LIAOTRAKOON, W. *et al*. Dragon fruit (*Hylocereus* spp.) seed oils: Their characterization and stability under storage conditions. **JAACS, Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 90, n. 2, p. 207–215, 2013.

LIM, H. K. *et al*. Chemical composition and DSC thermal properties of two species of *Hylocereus cacti* seed oil: *Hylocereus undatus* and *Hylocereus polyrhizus*. **Food Chemistry**, v. 119, n. 4, p. 1326–1331, 2010.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations part I: Fruit, vegetable and meat products. **LWT - Food Science and Technology**, v. 18, n. 2, p. 111–117, 1985.

MAJID, I.; HUSSAIN, S.; NANDA, V. Moisture sorption isotherms and quality characteristics of onion powder during storage as affected by sprouting. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 13, n. 1, p. 775–784, 2019.

MALDONADO-TORRES, R. *et al*. Assessment of Techno-Functional and Nutraceutical Potential of Tomato (*Solanum lycopersicum*) SeedMeal Ramón. **Molecules**, v. 25, p. 1–17, 2020.

MALLEK-AYADI, S.; BAHLOUL, N.; KECHAOU, N. Characterization, phenolic compounds and functional properties of *Cucumis melo* L. peels. **Food Chemistry**, v. 221, p. 1691–1697, 2017.

MANNOUBI, I. EL *et al*. Seed Oil From Tunisia. **Chemistry of Natural Compounds**, v. 45, n. 5, p. 521–524, 2009.

MATTHÄUS, B.; MEHMET, M. Ö. Habitat effects on yield, fatty acid composition and tocopherol contents of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) seed oils. **Scientia Horticulture**, v. 131, p. 95–98, 2011.

MIRANDA, M. *et al*. Modelling the Water Sorption Isotherms of Quinoa Seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) and Determination of Sorption Heats. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 5, p. 1686–1693, 2012.

MIZRAHI, Y. Vine-cacti pitayas - the new crops of the world. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 1, p. 124–138, 2014.

MUNE, M. A. M. *et al.* Physicochemical and functional properties of *Moringa oleifera* seed and leaf flour. **Cogent Food & Agriculture**, v. 2, n. 1, 2016.

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

ORTIZ, T. A. *et al.* Pitaya genotypes ( *Hylocereus spp.* ) seed germination at different pH levels based on statistical models. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 08, p. 1200–1204, 2018.

OSWIN, C. R. The Kinetics of package life III. **The isotherm**. p. 419–421, 1946.

PELEG, M. Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. **Journal of Food Process Engineering**, v. 16, n. 1, p. 21–37, 1993.

PELLEGRINI, M. *et al.* Chemical, fatty acid, polyphenolic profile, techno-functional and antioxidant properties of flours obtained from quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) seeds. **Industrial Crops & Products**, v. 111, p. 38–46, 2018.

PIASECKA, I. *et al.* The study of thermal properties of blackberry, chokeberry and raspberry seeds and oils. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 11, n. 16, 2021.

PICOU, L.; BOLDOR, D. Thermophysical characterization of the seeds of invasive Chinese tallow tree: Importance for biofuel production. **Environmental Science and Technology**, v. 46, n. 20, p. 11435–11442, 2012.

RICCI, L. *et al.* On the thermal behavior of protein isolated from different legumes investigated by DSC and TGA. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 14, p. 5368–5377, 2018.

RODRIGUES, K. C. *et al.* Isotherms and thermodynamic properties of water adsorption in ‘cumari-do-pará’ pepper seeds. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 4, p. 280–285, 2020.

RUI, H. *et al.* Extraction and characteristics of seed kernel oil from white pitaya. **Journal of Food Engineering**, v. 93, n. 4, p. 482–486, 2009.

SAENJUM, C.; PATTANANANDECHA, T.; NAKAGAWA, K. Antioxidative and anti-inflammatory phytochemicals and related stable paramagnetic species in different parts of dragon fruit. **Molecules**, v. 26, n. 12, 2021.

SAGAR, N. A. *et al.* Fruit and Vegetable Waste: Bioactive Compounds, Their Extraction, and Possible Utilization. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 3, p. 512–531, 2018.

SANTANA, F. C. O. *et al.* Effect of separation methods on the drying kinetics of organic pitaya ( *Hylocereus undatus* [ Haw .] Britton & Rose ) seed. **LWT**, v. 153, n. May 2021, p. 112353, 2022.

SANTOS, J. C. O. *et al.* Thermoanalytical, kinetic and rheological parameters of commercial edible vegetable oils. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 75, n. 2, p. 419–428, 2004.

SENRAYAN, J.; VENKATACHALAM, S. Optimization of ultrasound-assisted solvent extraction (UASE) based on oil yield, antioxidant activity and evaluation of fatty acid composition and thermal stability of *Coriandrum sativum* L. seed oil. **Food Science and Biotechnology**, v. 28, n. 2, p. 377–386, 2019.

SHADANGI, K. P.; MOHANTY, K. Kinetic study and thermal analysis of the pyrolysis of non-edible oilseed powders by thermogravimetric and differential scanning calorimetric analysis. **Renewable Energy**, v. 63, p. 337–344, 2014.

SILVA, R. *et al.* Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 661–671, 2009.

SMITH, S. E.; SMITH, S. E. The Sorption of Water Vapor by High Polymers. **Journal of the American Chemical Society**, v. 69, n. 3, p. 646–651, 1947.

SONAWANE, S. K. *et al.* Nutritional, functional, thermal and structural characteristics of *Citrullus lanatus* and *Limonia acidissima* seed flours. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 10, n. 1, p. 72–79, 2016.

STONE, A. K. *et al.* Effect of roasting pulse seeds at different tempering moisture on the flour functional properties and nutritional quality. **Food Research International**, v. 147, n. September 2020, p. 110489, 2021.

THYS, R. C. S. *et al.* Adsorption isotherms of pinhão (*Araucaria angustifolia* seeds) starch and thermodynamic analysis. **Journal of Food Engineering**, v. 100, n. 3, p. 468–473, 2010.

USDA. FoodDate Central. U.S. Department of agriculture: Agricultural Research Service. Disponível em < <https://fdc.nal.usda.gov> > Acesso em 15 mai 2020.

VAN DEN BERG, C. Development of B.E.T.-Like Models for Sorption of Water on Foods, Theory and Relevance. **Properties of Water in Foods**, p. 119–131, 1985.

VÁZQUEZ, A. O. *et al.* Physicochemical properties of a fibrous fraction from chia (*Salvia hispanica* L.). **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, n. 1, p. 168–173, 2009.

VERRUCK, S. *et al.* Thermal and water sorption properties of Bifidobacterium BB-12 microcapsules obtained from goat's milk and prebiotics. **Lwt**, v. 98, n. June, p. 314–321, 2018.

VILLALOBOS-GUTIÉRREZ, M. G. *et al.* Chemical characterization of Central American pitaya (*Hylocereus* sp.) seeds and seed oil. **CYTA - Journal of Food**, v. 10, n. 1, p. 78–83, 2012.

YANG, H. *et al.* Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. **Fuel**, v. 86, n. 12–13, p. 1781–1788, 2007.

YOUNG, J. F. Humidity control in the laboratory using salt solutions-a review. **Journal of Applied Chemistry**, v. 17, p. 241–245, 1987.

## **CAPÍTULO 5**

**Caracterização morfológica por microscopia de luz e ensaios de extração de sementes de pitaya orgânica *Hylocereus undatus* [(Haw.) Britton & Rose]: estudos preliminares**

## RESUMO

Compostos bioativos têm cada vez mais despertado o interesse de pesquisadores e da indústria, especialmente a agroindústria. Este interesse se deve a importante ação benéfica desses compostos no corpo humano e, também, devido ao aspecto ambiental, visto que as pesquisas têm dado cada vez mais atenção aos resíduos vegetais, especialmente constituídos por sementes e cascas de frutas. O objetivo deste trabalho foi realizar estudos preliminares de protocolos histológicos para localização de compostos de interesse em sementes de pitaya, por meio de microscopia, bem como, ensaios preliminares de processo de extração com solventes de polaridades crescentes por meio da técnica de Soxhlet. O protocolo por criostato permitiu a observação de alguns constituintes da semente, oferecendo maior número de cortes histológicos preservados, especialmente no que se refere à localização do embrião e do tegumento. Além disso, juntamente com a histoquímica, o criostato permitiu localizar e observar a organização dos lipídeos no tecido celular, que se apresentaram na forma de corpos lipídicos. O protocolo de historesina ofereceu cortes da baixa qualidade, não sendo adequado para os ensaios microscópicos com essas sementes. O protocolo de parafina foi o que apresentou cortes histológicos de melhor qualidade, embora espessos. Os ensaios com parafina permitiram indicar e localizar, nas sementes, dois cotilédones, cutícula, meristema apical da raiz, procâmbio, rafe e o meristema apical caulinar. Os pós das sementes apresentaram diâmetro médio de partícula de 0,492 mm o que parece ter sido favorável no processo de extração, devido ao alto rendimento dos extratos. Entre os solventes aplicados, o etanol foi o que apresentou maior rendimento (ETO = 39 %), seguido do hexano (HEX = 27,1 %), etanol:água (ETA = 16,6 %) e água (AGA = 10,6 %). Esse comportamento sugere que os compostos em maior concentração nas sementes de pitaya apresentam polaridade intermediária à baixa. Embora não tenha sido conclusivo, devido à impossibilidade causada pela pandemia de Covid-19, o estudo, além de ser promissor, irá contribuir significativamente com o conhecimento científico acerca dessas sementes.

**Palavras-chave:** Microscopia. Parafina. Historesina. Criostato. Polaridade. Soxhlet. Resíduo agroalimentar. Extração sólido-líquido. Polaridade.

## ABSTRACT

Bioactive compounds have increasingly aroused the interest of researchers and industry, especially the agroindustry. This interest is due to the important beneficial action of these compounds in the human body and also due to the environmental aspect since research has given increasing attention to plant residues, especially consisting of seeds and fruit peels. The objective of this work was to carry out preliminary studies of histological protocols for localization of compounds of interest in pitaya seeds, using microscopy, as well as preliminary tests of the extraction process with solvents of increasing polarities using the Soxhlet technique. The cryostat protocol allowed the observation of some constituents of the seed, offering a greater number of preserved histological sections, especially concerning the location of the embryo and tegument. In addition, together with histochemistry, the cryostat made it possible to locate and observe the organization of lipids in cell tissue, which appeared in the form of lipid bodies. The histoiresin protocol offered low-quality cuts, not being suitable for microscopic assays with these seeds. The paraffin protocol presented the best quality histological sections, although thicker. Assays with paraffin allowed to indicate and locate, in the seeds, two cotyledons, cuticle, root apical meristem, procambium, raphe, and the stem apical meristem. The seed powders had an average particle diameter of 0.492 mm, which seems to have been favorable in the extraction process, due to the high yield of the extracts. Among the solvents applied, ethanol showed the highest yield (ETO = 39 %), followed by hexane (HEX = 27.1 %), ethanol:water (ETA = 16.6 %) and water (AGA = 10, 6 %). This behavior suggests that the compounds in higher concentrations in pitaya seeds have intermediate to low polarity. Although it was not conclusive, due to the impossibility caused by the Covid-19 pandemic, the study, in addition to being promising, will significantly contribute to the scientific knowledge about these seeds.

**Keywords:** Microscopy. Paraffin. Histoiresin. Cryostat. Polarity. Soxhlet. Agri-food waste. Solid-liquid extraction. Polarity.

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), quase 50 % de todas as frutas e vegetais produzidos anualmente no mundo são descartadas e/ou desperdiçadas em diferentes etapas da cadeia agroprodutiva, desde a colheita até o processamento. Por outro lado, partes destes vegetais descartados como resíduos naturais, especialmente advindos de cascas e sementes, possuem uma constituição rica em compostos bioativos, que poderiam resultar em subprodutos de alto valor agregado, e seu reaproveitamento, poderia ainda, reduzir perdas econômicas e impactos ambientais associados ao seu descarte (ARRUDA *et al.*, 2021). Dentro desta perspectiva, estudos que envolvam processos de extração destes compostos, visando sua obtenção, isolamento, identificação e avaliação de suas propriedades podem ser estratégicos para sua utilização como matérias-primas ou ingredientes pela indústria de alimentos (HAYAT *et al.*, 2020). Em função disso, o interesse na investigação de bioativos extraídos a partir de diferentes partes de matrizes vegetais, como cascas, sementes, folhas e outras, tem crescido nos últimos dez anos (ALVAREZ *et al.*, 2019; ARRUDA *et al.*, 2021; FERRO *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2019a; VERONA-RUIZ; URCIA-CERNA; PAUCAR-MENACHO, 2020).

Compostos bioativos são metabólitos secundários produzidos pelas plantas que não estão diretamente envolvidos com o crescimento, mas que têm efeito sobre sistemas biológicos, promovendo benefícios aos humanos e animais. Os compostos bioativos podem ser encontrados em diversas partes vegetais como folhas, caules, flores e frutas, sendo divididos em três categorias principais, os terpenos e terpenoides, os alcaloides e os compostos fenólicos (AZMIR *et al.*, 2013; BERNHOFT, 2010).

Muitos estudos de extração têm evidenciado a riqueza de compostos bioativos em matrizes vegetais, o que tem chamado cada vez mais a atenção, devido ao seu poder antioxidante, antibacteriano e seu potencial terapêutico (CRUZ *et al.*, 2017; KUMAR *et al.*, 2017; LIMA *et al.*, 2019; SENRAYAN; VENKATACHALAM, 2019). Resíduos de frutas, especialmente compostos de sementes e cascas, têm se mostrado uma rica fonte de muitos componentes fitoquímicos e outros nutrientes valiosos, como aminoácidos, ácidos graxos, fibras, vitaminas e minerais (ABDULLAH *et al.*, 2018; BANERJEE *et al.*, 2017; BOUAZZAOUI *et al.*, 2018; KUMAR *et al.*, 2017; NIZAMLIOĞLU; ÜNVER; KADAKAL, 2021; SHOKROLLAHI; TAGHIZADEH, 2016).



Para a obtenção de compostos de interesse em matrizes sólidas, há uma variedade de técnicas que envolvem processos de extração. A aplicação de solventes para realizar a extração de solutos contidos em matrizes sólidas é denominada de extração sólido-líquido ou lixiviação. Durante este processo ocorre a transferência de massa, que é capaz de transferir compostos de interesse contidos em um sistema sólido para uma fase líquida, ocorrendo, portanto, a difusão no sentido do meio sólido para o meio líquido (TREYBAL, 2007; POOLE, 2019 a).

Dentre as técnicas para extração sólido-líquido, a extração por Soxhlet é uma técnica analítica de baixa pressão, amplamente utilizada como referência na análise do desempenho de outros métodos de lixiviação, especialmente aqueles que atualmente são consideradas verdes, como extração assistida por micro-ondas, por ultrassom, por líquido pressurizado, com fluido supercrítico e outras (CHOUAIBI *et al.*, 2019; FERRO *et al.*, 2019; SENRAYAN; VENKATACHALAM, 2019). Compostos bioativos de diferentes fontes vegetais podem ser extraídos aplicando-se esta técnica de extração, inclusive, porque múltiplos solventes podem ser aplicados para modificar a polaridade da fase líquida e aumentar a recuperação de certos compostos químicos de interesse (BOUZZAOUI *et al.*, 2018; CRUZ *et al.*, 2017; FERRENTINO *et al.*, 2019; VILLANUEVA-BERMEJO *et al.*, 2019).

Dentre as vantagens de extração por Soxhlet convencional, destacam-se: baixo custo de aquisição do aparato experimental; simplicidade operacional; emprego de solventes em temperaturas de ebulição, o que resulta no alto rendimento de extração; reciclo constante do solvente e dispensa de etapas de filtração. No que se referem as desvantagens, esse método de extração se caracteriza por: longos períodos de extração e descarte de resíduos; possibilidade de danos aos compostos termossensíveis; baixa seletividade; uso, em alguns casos, de solventes ambientalmente não amigáveis; necessidade de etapas de evaporação/concentração do extrato obtido ( LÓPEZ-BASCÓN; LUQUE DE CASTRO, 2019; LÓPEZ-BASCÓN; LUQUE DE CASTRO, 2019; LUQUE DE CASTRO; PRIEGO-CAPOTE, 2010).

A extração por Soxhlet, além de sofrer a influência de variáveis como tempo, temperatura, solvente, pressão e as propriedades da matriz vegetal, quanto à seletividade e rendimento de extração, também é impactada pelo tratamento físico aplicado ao processo (uso de calor, mistura e tamanho da matriz) (KHAN *et al.*, 2020; LÓPEZ-BASCÓN; LUQUE DE CASTRO, 2019). Com relação às propriedades da matriz

vegetal, Arruda *et al.* (2021) afirmam que nessas matrizes a taxa de extração depende da permeabilidade da membrana celular. Portanto, pré-tratamentos aplicados à matriz sólida interferem no sucesso da extração. Dentre esses pré-tratamentos, destacam-se os processos de trituração ou moagem, que promovem o aumento da área de transferência de massa, a criação de canais de escoamento para o solvente e mistura solvente/soluto, além do rompimento da parede celular vegetal, facilitando o processo de lixiviação (TREYBAL, 2007).

Uma vez que, em vegetais, as estruturas celulares desempenham um papel relevante nos processos de extração, o conhecimento de suas características é fundamental para a tomada de decisão quanto ao uso de métodos de extração para a obtenção de compostos de interesse. Dentre as técnicas que permitem a caracterização dessas matrizes, se destacam os ensaios histológicos, aliados às técnicas histoquímicas e à microscopia. A técnica histológica representa um conjunto de procedimentos que, com auxílio da histoquímica e de microscopia, auxilia na descrição de tecidos celulares em termos de estrutura tecidual e na inter-relação deles com os constituintes da matriz extracelular. A histoquímica utiliza de processos de fixação e coloração de tecidos com o objetivo de identificar e localizar *in situ*, compostos ou grupos químicos presentes em células e em tecidos (CAPUTO; GITIRANA; MANSO, 2010; VENTRELLA *et al.*, 2014). Em sementes, a microscopia é uma ferramenta importante capaz de oferecer informações, além dos constituintes químicos, sobre sua estrutura, morfologia embrionária, processos envolvidos na germinação, dormência e sobrevivência, e reconhecer relações filogenéticas em famílias e gêneros específicos (KANWAL *et al.*, 2022; RIBEIRO; OLIVEIRA, 2014). Neste sentido, ensaios histológicos em sementes de pitaya, uma matriz alimentar complexa, com a presença de compostos de reserva, componentes estruturais de parede celular e fitoquímicos, são relevantes para auxiliar na escolha de processos de extração, uma vez que permite avaliar a organização e localização de compostos de interesse, como lipídeos, proteínas e compostos bioativos.

As pitayas *H. undatus* são angiospermas com sementes dicotiledôneas, apresentando características estruturais específicas de acordo com essas classificações. As sementes angiospermas são constituídas de um embrião, endosperma e/ou perisperma e testa (tegumento) (BEWLEY *et al.*, 2013) (CISNEROS; GARCIA; TELZUR, 2011). Na maioria das dicotiledôneas o endosperma é consumido durante o desenvolvimento da semente, estando ausente nas sementes maduras, sendo os

cotilédones a principal estrutura de reserva (BEWLEY *et al.*, 2013). Nessas sementes, a compreensão da microestrutura e seus compostos integradores, se fazem úteis para isolar e caracterizar seus macronutrientes e compostos bioativos. Para possibilitar essa avaliação, se faz necessário a aplicação de protocolos histológicos.

Os protocolos de preparo de amostras para análises microscópicas são um conjunto de etapas que, quando aplicados à matriz vegetal, permitem a obtenção de cortes histológicos e a consequente avaliação dos tecidos por meio de observações em microscópio. A fixação, geralmente está presente como primeira etapa em muitos protocolos, cujo principal objetivo é interromper o metabolismo celular do tecido, para que as estruturas biológicas e os componentes bioquímicos sejam estabilizados e preservados (CAPUTO; GITIRANA; MANSO, 2010; NUNES; CINSA, 2016). Alguns fatores interferem na fixação, como temperatura, espessura do tecido, penetração do fixador, tempo de fixação, tipo de fixador, relação do volume fixador/tamanho do espécime, pH e outros (CAPUTO; GITIRANA; MANSO, 2010; NUNES; CINSA, 2016). O glutaraldeído é um dos fixadores químicos mais empregados nesse processo (BURRIEZA *et al.*, 2016; RIBEIRO *et al.*, 2021; VAN DE VONDEL; LAMBRECHT; DELCOUR, 2022). Em técnicas de preparo histológico, que envolve a aplicação de resinas (parafina e historesina, por exemplo), o protocolo conta com outras etapas, que envolvem processos seriados de desidratação, diafanização (também conhecido como clarificação), impregnação ou infiltração. Essas etapas promovem a remoção dos líquidos do tecido (água e fixador) e preparam o tecido para receber a inclusão da parafina ou infiltração da historesina, que após solidificarem, permitirão que o tecido seja submetido à microtomia, ou seja, a realização dos cortes histológicos e posterior avaliação por microscopia (CAPUTO; GITIRANA; MANSO, 2010).

Diante do exposto, o objetivo desse capítulo foi realizar estudos preliminares de protocolos histológicos visando, por meio de microscopia ótica, a identificação e localização de estruturas celulares e seus componentes em sementes de pitaya orgânica *H. undatus*, bem como, ensaios preliminares de extração, aplicando a técnica de Soxhlet com solventes de diferentes polaridades.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. MICROSCOPIA ÓPTICA

Para os ensaios de caracterização morfológica das sementes de pitaya *H. undatus* por microscopia, foram aplicadas diferentes técnicas de preparo de amostra para a obtenção dos cortes histológicos. Para isso, foram aplicados protocolos de preparo, com o objetivo de obter cortes histológicos preservados para a caracterização em microscópio. Para a aplicação dos protocolos, foram usadas sementes isoladas (historesina e parafina) e sementes contidas na polpa da fruta (criostato), conforme será descrito na sequência.

As imagens foram obtidas em microscópio óptico (BX41 – Olympus, Japão) com objetivas de 4x, 10x, 20x e 40x. A captura das imagens foi feita em câmera digital colorida com 3.3 mpixel e com programa de captura de imagens Q-capture Pro 5.1, ambos da Q-imaging.

#### 2.1.2 Amostras

Para os ensaios de microscopia, foram usadas frutas de pitaya *H. undatus* doadas pelo Recanto das Pitaya, safra 2018-2019 (colheita em março de 2019, pH 4,94 e teor de sólidos solúveis de 9,8 °Brix) e da safra 2019-2020 (colheita em janeiro de 2020, pH 4,5 e teor de sólidos solúveis de 10,0 °Brix), devido a necessidade de as amostras serem frescas.

Para os ensaios com os protocolos, foram usadas sementes isoladas e sementes contidas na polpa, obtidas de frutas completamente maduras e frescas.

#### 2.1.3 Materiais

O Gutaraldeído 50%, o álcool etílico absoluto 99,8% P.A. (etanol), o fosfato de sódio dibásico anidro P.A., o fosfato de sódio monobásico 98 % e o xileno P.A. (xilol) foram todos da marca Neon (Brasil). Os fosfatos foram aplicados para a produção do tampão fosfato (PBS 0,1 M – pH 7,2 - 7,4). A sacarose utilizada foi de mesa (comercial). A parafina histológica (fusão 56 - 58 °C e densidade 0,7 - 0,9 g/cm<sup>3</sup>) foi da marca Êxodo Científica (Brasil) e o cassete histológico com tampa removível (modelo: K30-0501) foi da marca Kasvi (Brasil). Para os ensaios com historesina (hidroxietil metacrilato - HEMA), foi utilizado o Kit Leica Historesin (Leica, Alemanha).

## 2.1.4 Protocolos para preparo de amostra e corte histológico

### 2.1.4.1 Protocolo para corte em criostato e histoquímica de lipídeos totais

Para o ensaio em criostato, foram testados três protocolos, que foram modificados ao longo dos ensaios até a definição da metodologia que será descrita a seguir, referente ao protocolo III. No **Apêndice A** é reportado os três protocolos testados.

Após higienização das frutas, a casca foi removida e a polpa com as sementes foi fracionada em pequenos cubos com aproximadamente 1,5 cm x 1,5 cm. Posteriormente, foi aplicado o protocolo do Laboratório Multiusuário de Estudos em Biologia (LAMEB), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), ao qual foi adaptado após testes anteriores:

1) **Fixação:** Os cubos de polpa com sementes de pitaya, foram distribuídos em tubos falcon de 50 mL contendo glutaraldeído 2,5% (v/v) tamponado com fosfato de sódio 0,1 M (pH 7,2-7,4) em uma proporção de 1:20 (amostra:solvente) (cerca de 1 cubo por falcon). Os tubos foram submetidos a aplicação de vácuo por 1 hora e depois mantidos em temperatura de refrigeração. Este processo foi repetido por 10 dias, sendo que no quinto dia, a solução de glutaraldeído foi renovada.

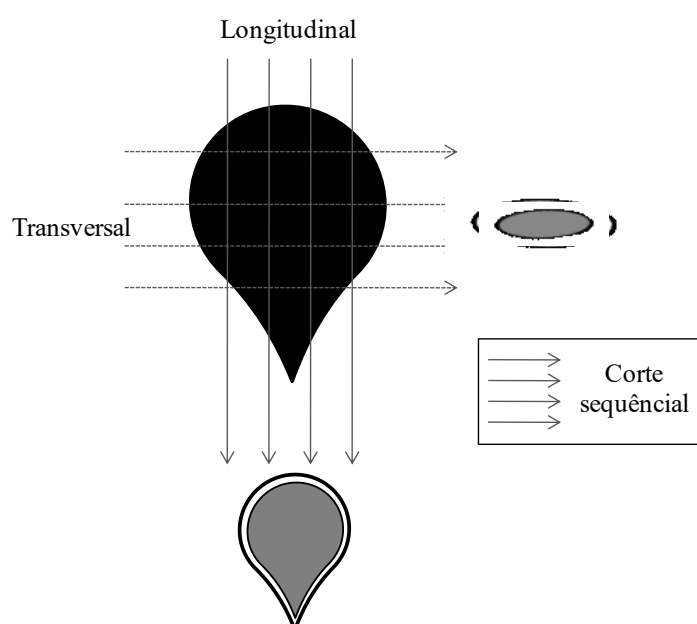
2) **Infiltração com sacarose (Crioproteção):** Anteriormente ao processo de infiltração, as amostras foram removidas da solução de glutaraldeído 2,5% e lavadas três vezes, em intervalos de trinta minutos cada, com tampão fosfato 0,1 M (m/v). Após as lavagens, as amostras foram transferidas para béquer contendo solução de sacarose 10 % com tampão fosfato 0,1 M (m/v) e mantida em temperatura ambiente por 2 horas. A seguir, as amostras foram transferidas para solução de sacarose 20 % com tampão fosfato 0,1 M (m/v), e mantidas em temperatura ambiente por mais 2 horas. Por fim, as amostras foram transferidas para béquer contendo solução de sacarose 30 % com tampão fosfato 0,1 M (m/v), onde ficaram mantidas até 24 horas, sob refrigeração, antes do congelamento.

Anteriormente a realização dos cortes histológicos, as amostras foram embrulhadas em papel alumínio e congeladas em ultra freezer a - 80 °C (CL120-80V, Coldlab, Brasil) e levadas para o LAMEB em caixa de isopor contendo gelo.

3) **Corte histológico:** As amostras foram mantidas na câmara criostática (Thermo Scientific - HM525 NX, EUA) a - 25 °C por pelo menos 2 horas antes de

iniciar o procedimento. As amostras e as lâminas foram fixadas no criostato e cortes histológicos transversais e longitudinais sequenciais, com espessuras entre 8 e 20  $\mu\text{m}$ , foram realizados a  $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Figura 1). As partes seccionadas foram transferidas para lâminas de vidro, previamente preparadas com gelatina para a adesão dos cortes, mantidas em estufa a  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  *overnight* e, posteriormente, armazenadas em estojo de lâminas a temperatura ambiente. Parte desses cortes seguiu para a microscopia e parte foi para o preparo histoquímico e, na sequência, para a microscopia.

Figura 1 – Representação dos cortes histológicos aplicados às sementes de pitaya *H. undatus* para os ensaios em microscopia de luz



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

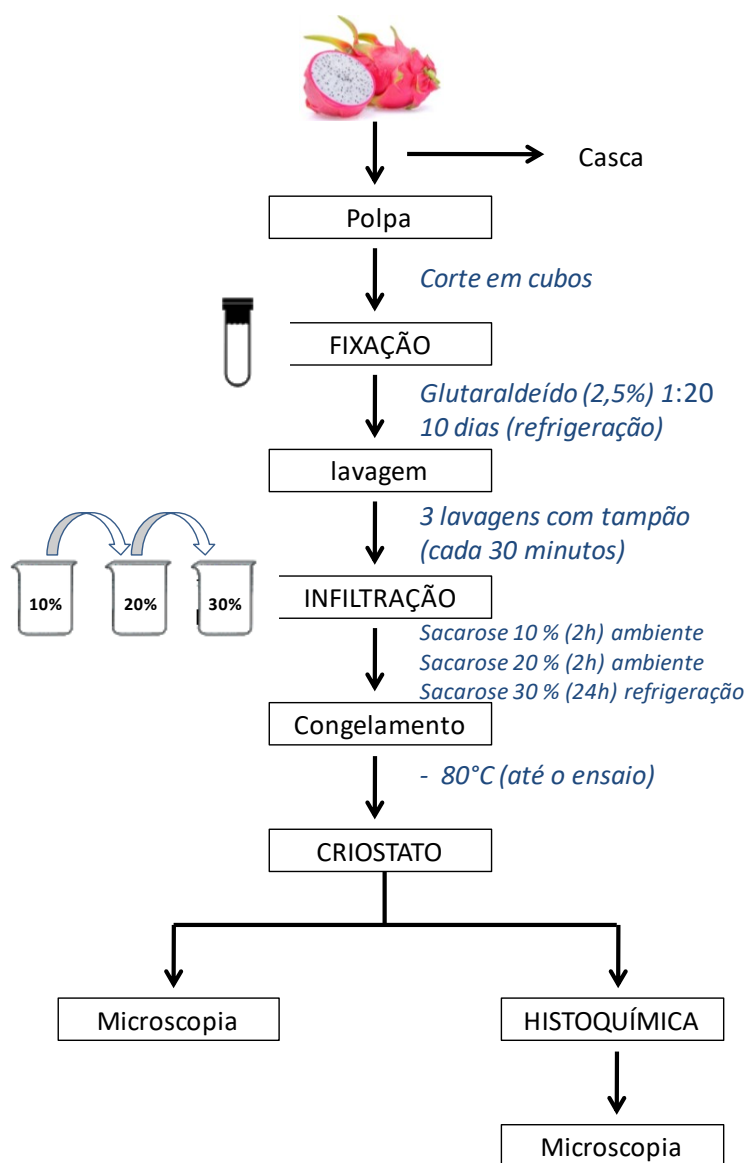
Nota: Transversal = corte na direção horizontal; Longitudinal = corte na direção vertical

4) **Histoquímica:** Parte das lâminas com os cortes histológicos foi preparada para o ensaio histoquímico para verificação da localização dos lipídeos nas sementes. Para isso, as lâminas foram submersas em etanol 50 % (v/v) por 5 minutos e, posteriormente, em etanol 70 % (v/v) por mais 5 minutos. A seguir, as lâminas foram submersas em corante Sudan IV por 40 minutos, onde os lipídeos foram corados de laranja, uma vez que o corante é solúvel em gorduras. Após esse período, com auxílio de uma pipeta, as lâminas foram lavadas com etanol 70 % e, posteriormente, por três vezes com água destilada. Por último, as lamínulas foram colocadas sobre os cortes

corados e mantidas *overnight* a 40 °C e, posteriormente, armazenadas em estojo de lâminas a temperatura ambiente.

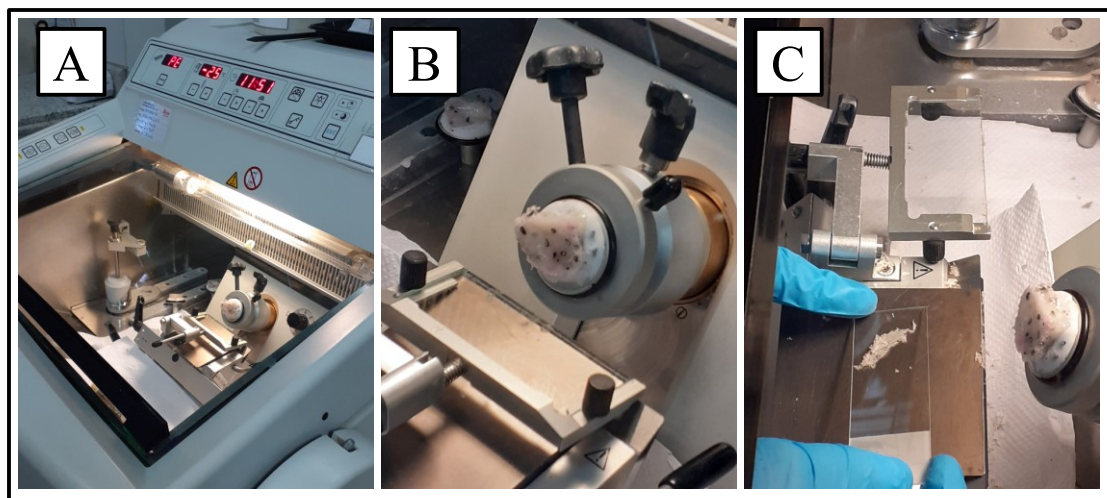
Um fluxograma simplificado do protocolo pode ser observado na Figura 2 e imagens de algumas etapas do protocolo podem ser observadas na Figura 3.

Figura 2 – Fluxograma do protocolo experimental para corte histológico em criostato



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Figura 3 – Blocos de polpa/semente de pitaya em processo de corte por criostato



Fonte: Elaborada pela autora (2020)

A – Posicionamento da amostra em equipamento criostato a - 25°C para ambientação; B – Início dos cortes; C – obtenção de corte e posicionamento em lâmina de vidro.

#### 2.1.4.2 Protocolo para Parafina

Para o ensaio com a parafina, foram testados três protocolos, que foram modificados ao longo dos ensaios até definição da metodologia que será descrita a seguir, referente ao protocolo III. No **Apêndice B** é reportado os três protocolos testados.

Para esse ensaio, foram utilizadas sementes individuais *in natura*, que foram removidas da polpa manualmente, lavadas em água corrente e secas com auxílio de papel toalha.

1) **Fixação:** As sementes foram distribuídas em tubos falcon de 15 mL contendo glutaraldeído 2,5% (v/v) tamponado com fosfato de sódio 0,1 M a pH 7,2 em uma proporção de 1:20 (amostra:solvente). Os tubos foram fechados e mantidos em temperatura de refrigeração por 10 dias e, durante esse período, uma vez ao dia, foram submetidos à aplicação de vácuo por 1 hora. No quinto dia de fixação, a solução de glutaraldeído foi renovada.

2) **Processamento I:** Após a fixação, as sementes foram lavadas três vezes, em intervalos de trinta minutos cada, com tampão fosfato 0,1 M (m/v), transferidas para cassetes histológicos e submetidas à desidratação seriada. Os cassetes foram imersos em solução de etanol 50 % (v/v), em uma proporção 1:20, por 30 minutos em temperatura



ambiente. As seguir, foram transferidos para solução de etanol 70 % (v/v) em uma proporção 1:20, por 30 minutos em temperatura ambiente e, posteriormente, deixados sob refrigeração até o início da etapa II de processamento.

3) **Processamento II:** Esta etapa foi conduzida em processador de amostras (Leica TP1020, Alemanha) no LAMEB, que é realizado em três etapas: desidratação, diafanização e inclusão.

Para dar sequência a desidratação, as sementes foram removidas do etanol 70 % e transferidas para o processador de amostras, contendo a graduação alcoólica de: etanol 70 %, etanol 80 % e etanol 90 %, onde foram mantidas por um período de 1h30min em cada e, posteriormente, em etanol 100 % I e etanol 100 % II, onde foram mantidas por 2h e 6h, respectivamente.

Após a desidratação, as sementes passaram pelo processo de diafanização, que realiza a substituição do etanol pelo xilol. O processo contou com duas etapas, xilol I e xilol II, onde as sementes permaneceram submersas por 1 h em cada etapa.

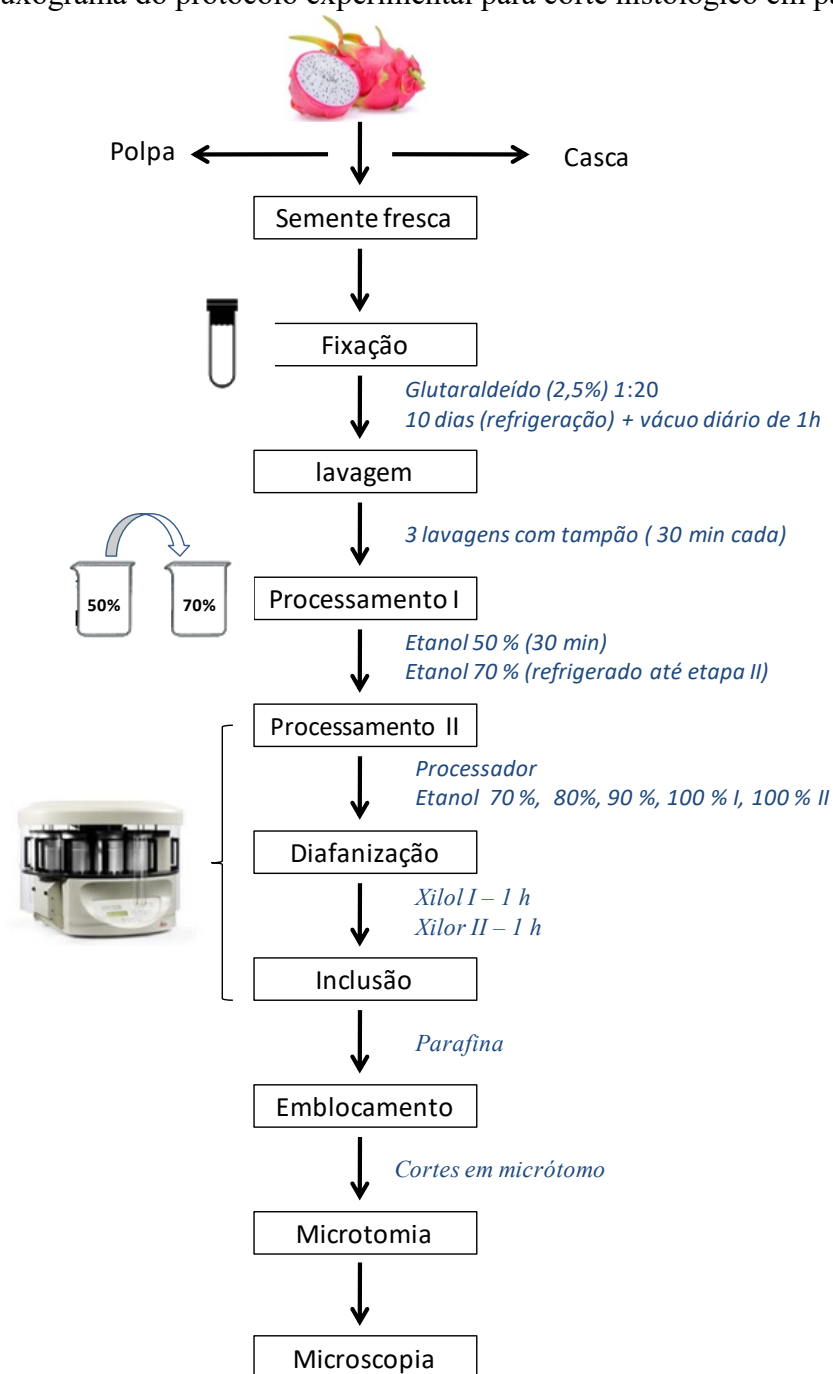
Por fim, as sementes passaram pela etapa de inclusão, na qual ocorre a impregnação dos tecidos com parafina líquida à 58 °C, em substituição ao xilol. Esse processo contou com três etapas: parafina I, parafina II e parafina III, onde as sementes permaneceram submersas na parafina I e II por 6 horas cada e na parafina III por 10 horas.

3) **Emblocamento:** Essa etapa foi realizada com auxílio de emblocador de amostras (Leica EG1150H, Alemanha). A parafina líquida foi transferida para os moldes de metal e as sementes foram individualmente posicionadas neles. Estes foram resfriados e formaram blocos endurecidos que foram estocados sob refrigeração por 24 horas.

4) **Microtomia:** Os blocos foram adaptados no Micrótopo Rotativo (Leica RM2255, Alemanha), e cortes histológicos transversais longitudinais sequenciais (Figura 1) com espessuras entre 8 e 20  $\mu\text{m}$ , foram realizados. Os cortes foram transferidos para um banho de gelatina 0,2 % (m/v) e fixados na lâmina de vidro. Por fim, as lâminas foram deixadas em estufa à 40 °C *overnight*, para auxiliar a fixação do corte na lâmina. Após os cortes, as lâminas foram levadas para análise em microscópio.

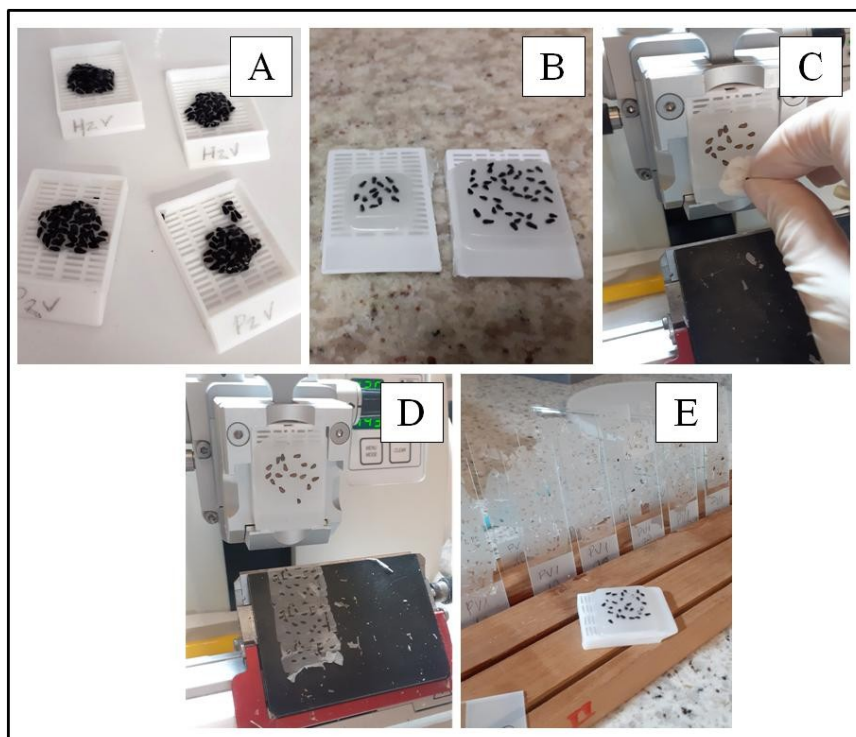
Um fluxograma simplificado do protocolo pode ser observado na Figura 4 e imagens de etapas do protocolo podem ser visualizadas na Figura 5.

Figura 4 – Fluxograma do protocolo experimental para corte histológico em parafina



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Figura 5 - Etapas do protocolo de parafina aplicadas às sementes de pitaya *H. undatus*



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

\*Nota: **A** - Sementes em cassetes histológicos após a etapa de fixação com glutaraldeído, seguindo para a etapa de desidratação. **B** – Sementes infiltradas e fixadas em parafina. **C** – Bloco em micrótomo sendo resfriado com auxílio de algodão e gelo antes do corte histológico. **D** – Série de cortes histológicos. **E** – Fixação dos cortes em lâmina para posterior visualização em microscópio de luz.

#### 2.1.4.3 Protocolo para Historesina

Para este ensaio, foi utilizado o Kit Leica Historesin composto de resina básica (monômero de glicol-metracrilato), de ativador (peróxido de benzoila) e endurecedor (*hardner* derivado de ácido barbitúrico). Para o ensaio, foram utilizadas sementes *in natura*, que foram removidas da polpa manualmente, lavadas em água corrente e secas com auxílio de papel toalha.

1) **Fixação:** As sementes foram distribuídas em tubos falcon de 15 mL contendo glutaraldeído 2,5% (v/v) tamponado com fosfato de sódio 0,1 M a pH 7,2 em uma proporção de 1:20 (amostra:solvente). Os tubos foram fechados e mantidos em temperatura de refrigeração por 48 horas.

2) **Processamento I:** As sementes foram removidas do glutaraldeído e lavadas três vezes, em intervalos de trinta minutos cada, com tampão fosfato 0,1 M (m/v). Após as lavagens, as sementes foram transferidas para cassetes histológicos e submetidas à desidratação seriada com etanol 50 % (v/v) em uma proporção 1:20, por 30 minutos em temperatura ambiente e, posteriormente transferidas para etanol 70 % (v/v), nas mesmas

condições. As sementes foram mantidas em etanol 70%, sob refrigeração, até o início da etapa de processamento II.

3) **Processamento II:** Esta etapa foi conduzida em processador de amostras (Leica TP1020, Alemanha) no LAMEB, sendo aplicada apenas a etapa de desidratação. As sementes foram removidas do etanol 70 % e transferidas para o processador para segunda etapa de desidratação seriada, que seguiu a graduação alcoólica: etanol 80 % (1 h), etanol 90 % (1 h), etanol 100 % I (40 min) e etanol 100 % II (1 h).

4) **Pré-infiltração:** As sementes foram retiradas do etanol 100 % II e distribuídas em *ependorfs* de 2 mL, onde foi adicionada a mistura da solução de infiltração (resina + ativador) e etanol (1:1), aplicado vácuo por 15 minutos, os tubos foram fechados e mantidos sob temperatura de refrigeração por 7 dias, repetindo-se o vácuo uma vez ao dia, durante este período.

5) **Infiltração:** As sementes foram removidas da mistura de pré-infiltração e transferidas para *ependorfs* contendo solução de infiltração (resina + ativador), foi aplicado vácuo por 15 minutos, depois os tubos foram fechados e mantidos sob temperatura de refrigeração por 15 dias, repetindo-se o vácuo uma vez ao dia, durante este período

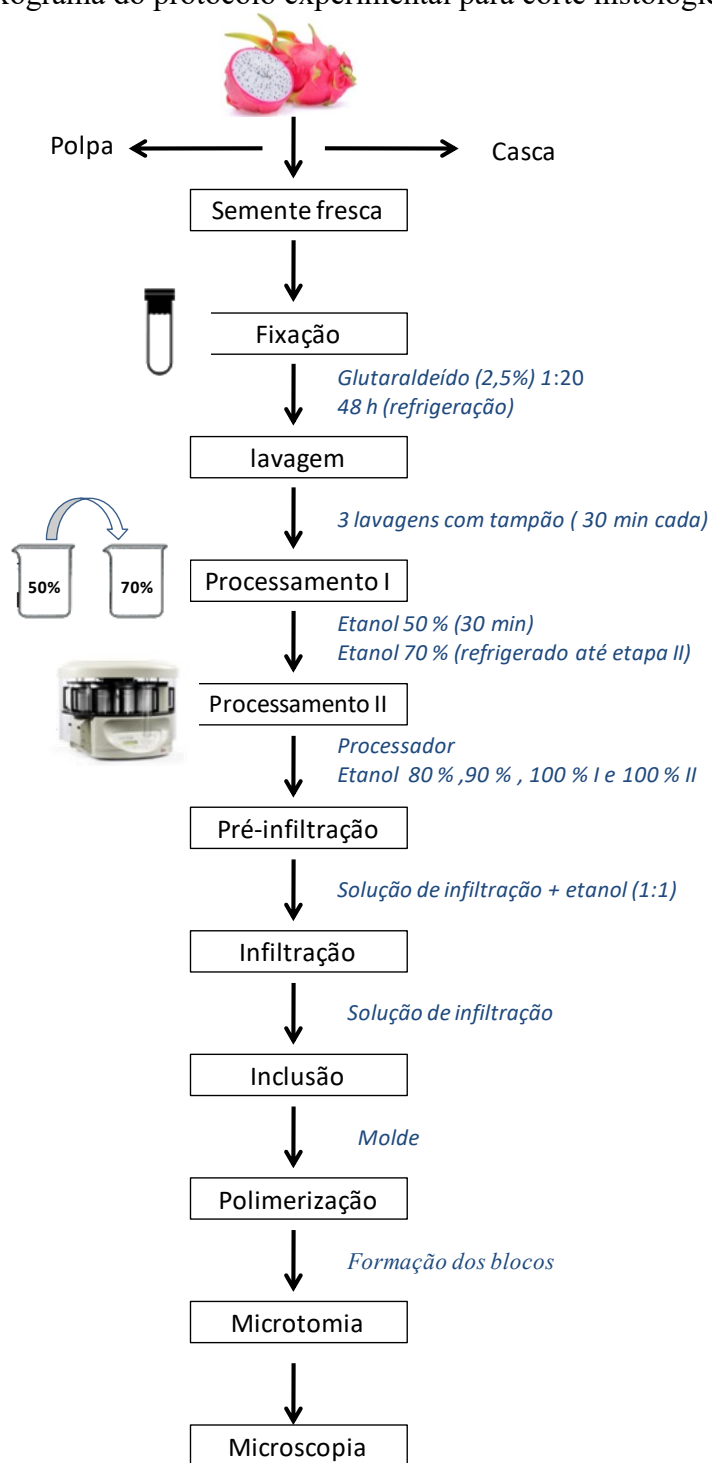
6) **Inclusão:** Em moldes para historesina, foram transferidas a mistura da solução de infiltração com endurecedor (*hardner*) e as sementes de pitaya, sendo mantidas em temperatura de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 24 horas.

7) **Polimerização do bloco:** O molde foi transferido para um béquer com gelo, onde as sementes pudessem ser reposicionadas, enquanto houvesse o endurecimento lento da resina. Por fim, o molde foi mantido em temperatura ambiente ( $\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) *overnigh* para completa polimerização. Os blocos polimerizados foram retirados do molde, lixados com lixa de parede fina (n<sup>o</sup> 220), para remover a camada gelatinosa presente na superfície e, fixados individualmente, em suportes de madeira.

8) **Microtomia:** Os blocos foram adaptados no Micrótopo Rotativo (Leica RM2255, Alemanha), e cortes histológicos transversais longitudinais sequenciais, com espessuras entre 8 e 20  $\mu\text{m}$ , foram realizados. Os cortes foram transferidos para lâmina de vidro banhado com água e secos lentamente para promover a fixação. Após o preparo das lâminas com os cortes, estes foram levados para os ensaios de microscopia.

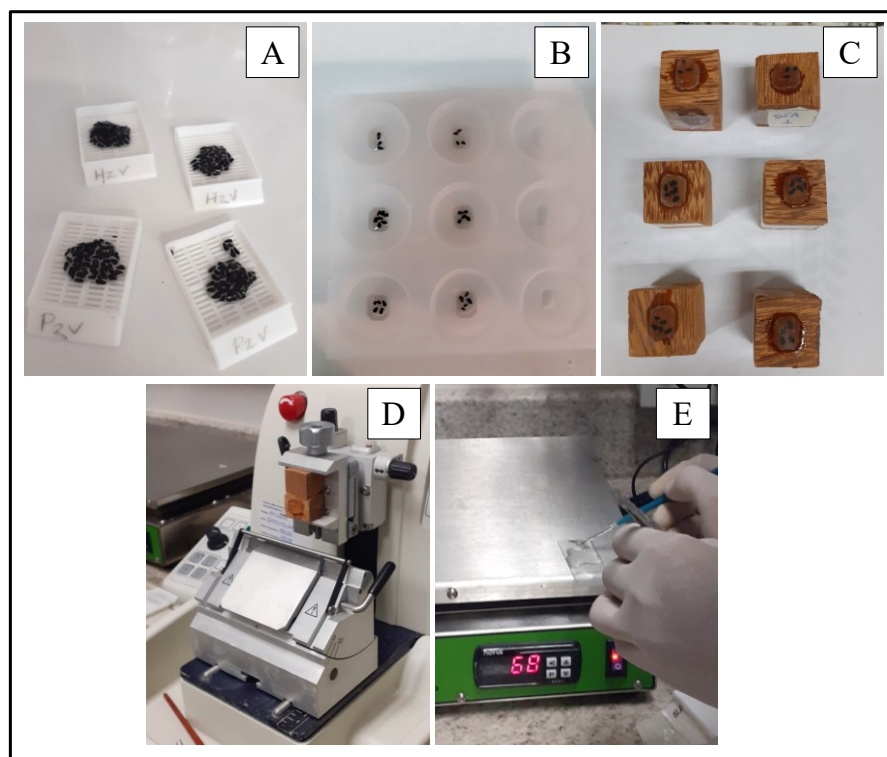
Um fluxograma simplificado deste protocolo pode ser observado na Figura 6 e imagens de etapas do protocolo podem ser visualizadas na Figura 7.

Figura 6– Fluxograma do protocolo experimental para corte histológico em historesina



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Figura 7 – Etapas do protocolo de historessina aplicadas às sementes de pitaya *H. undatus*



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

\*Nota: **A** – Sementes sendo transferidas para cassetes histológicos após a etapa de fixação com glutaraldeído, seguindo para a etapa de desidratação. **B** – Sementes na etapa de inclusão em molde após a etapa de infiltração com historessina. **C** – Sementes emblocadas e fixadas em blocos de madeira, seguindo para a microtomia. **D** – Início dos cortes histológicos em micrótomo. **E** – Fixação dos cortes histológicos em lâmina para posterior visualização em microscópio de luz.

## 2.2 EXTRAÇÃO COM SOLVENTE

### 2.2.1 Preparo das amostras

As pitayas orgânicas *Hylocereus undatus* [(Haw.) Britton & Rose] (*H. undatus*) foram doadas pela fazenda Recanto das Pitayas, localizada em Turvo, Santa Catarina (28° 55.117'S, 49° 41.572'O).

Para a realização dos ensaios de extração, foi elaborado um mix das sementes com os lotes L2, L3 e L4, na proporção 1:1:1, da safra 2018-2019, com coleta entre os meses de janeiro e abril de 2019:

- L2 - Colheita em janeiro de 2019. Polpa com pH e °Brix de 4,5 e 10,1 %, respectivamente;
- L3 – Colheita em março de 2019. Polpa com pH e °Brix de 4,6 e 9,0 %, respectivamente;

- L4 – Colheita em abril de 2019. Polpa com pH e °Brix de 4,9 e 9,8 %, respectivamente.

As pitayas foram recebidas, processadas e armazenadas conforme já descrito no item 2.2 do capítulo 3 desta tese.

Para a obtenção das sementes, foi realizada a separação semente-polpa por hidrólise enzimática, com auxílio de Pectinex, conforme metodologia descrita por Santana et al. (2022). As sementes foram desidratadas a  $45\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  em estufa com circulação forçada de ar (Tecnal TE-394/2, Brasil), com umidade final de  $3,5\% \pm 0,1\%$ , embaladas à vácuo em embalagens de polietileno e mantidas a  $-18^{\circ}\text{C}$ , em ausência de luz, até a realização das análises.

### 2.2.2 Determinação do diâmetro médio de partícula

Para a determinação do diâmetro médio das partículas ( $d_s$ ), as sementes foram moídas em moedor de facas inoxidável e ajustável (Hamilton Beach, EUA) no modo fino, por 20 segundos. Aproximadamente  $45\text{ g} \pm 5\text{ g}$  do pó das sementes foi transferido para o conjunto de peneiras granulométricas da série Tyler, com Mesh variando de -14/+42 e acoplado ao agitador de peneiras magnético para análises granulométricas (Bertel, Brasil), e agitado em vibração 1,5 por 10 minutos. Após este período, a fração de semente retida em cada peneira foi pesada em balança semi-analítica (Mars-AS2000C, Brasil) e o valor médio do diâmetro das partículas foi calculado conforme as Equações 1 e 2 (GOMIDE, 1980). O ensaio foi realizado em triplicata.

As peneiras granulométricas utilizadas neste ensaio e seus respectivos valores de abertura (mm) são apresentados na Tabela 1.

$$\bar{d}_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta l_i}{\bar{d}_t}}{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta l_i}{d_t^3}}} \quad (1)$$

$$\Delta l_i = \frac{m_i}{m_t} \quad (2)$$

Onde:  $\bar{d}_s$  = diâmetro médio das partículas (mm);  $m_i$  = massa de amostra retida na peneira  $i$  (g);  $m_t$  = massa total de amostra (g);  $d_t$  = diâmetro da peneira  $i$  (mm) e  $n$  = número de frações

Tabela 1 – Características das peneiras granulométricas Tyler

Mesh (Tyler)	Abertura da malha (mm)
14	1,190
16	1,000
20	0,841
28	0,595
32	0,500
42	0,354

Fonte: Elaborada pela autora (2021) a partir do fabricante

### 2.2.3 Extração com solvente por Soxhlet

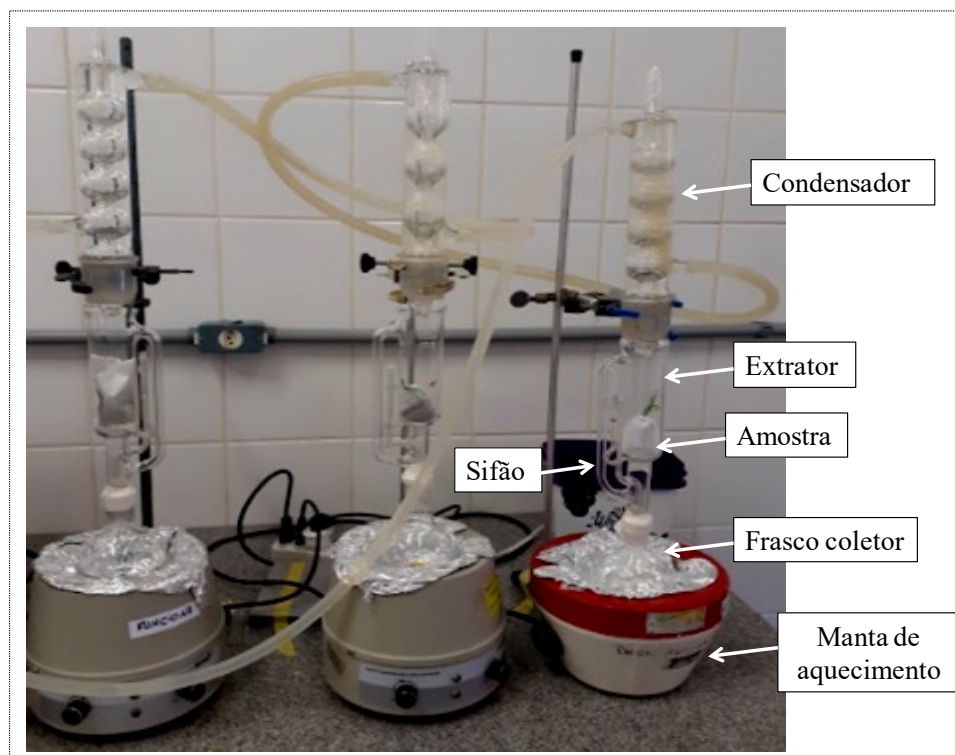
O processo de extração das sementes de pitaya foi realizado pelo método de Soxhlet (SOX), conforme metodologia 920.39C da AOAC (2005). A extração com solvente, por meio da técnica de Soxhlet, foi aplicada com o objetivo de se ter uma extração padrão, por meio de técnica oficial, convencional e bem estabelecida, a qual é amplamente utilizada em estudos de extração com sementes (CRUZ *et al.*, 2019; DIAS *et al.*, 2019; FERRENTINO *et al.*, 2019).

O sistema de extração contou com um aparato composto por um condensador, um extrator com sifão, um frasco coletor e uma manta de aquecimento. O sistema foi ligado ao um banho termostaticado (TE-2205-Tecnal, Brasil) a temperatura controlada de 10 °C (Figura 8).

Foram pesados 5 g de sementes em pó e adicionados em filtro para bomba de chimarrão em voal (meio filtrante), previamente embebido pelo solvente extrator por 1 hora e seco. A mostra foi inserida no extrator Soxhlet e, respeitando a razão 1:30 (amostra:solvente - m/v), foram adicionados 150 mL de solvente no balão de fundo chato ajustado sobre uma manta de aquecimento, na temperatura de ebulição do solvente. A manta foi coberta com lâmina de alumínio e o balão ficou suspenso sobre ela, não havendo contato entre o fundo do balão e a manta. O tempo total de análise foi de 6 h, contadas a partir do início do gotejamento do solvente, após condensação.



Figura 8 – Aparato experimental do método de extração convencional por Soxhlet aplicado às sementes de pitaya *H. undatus*



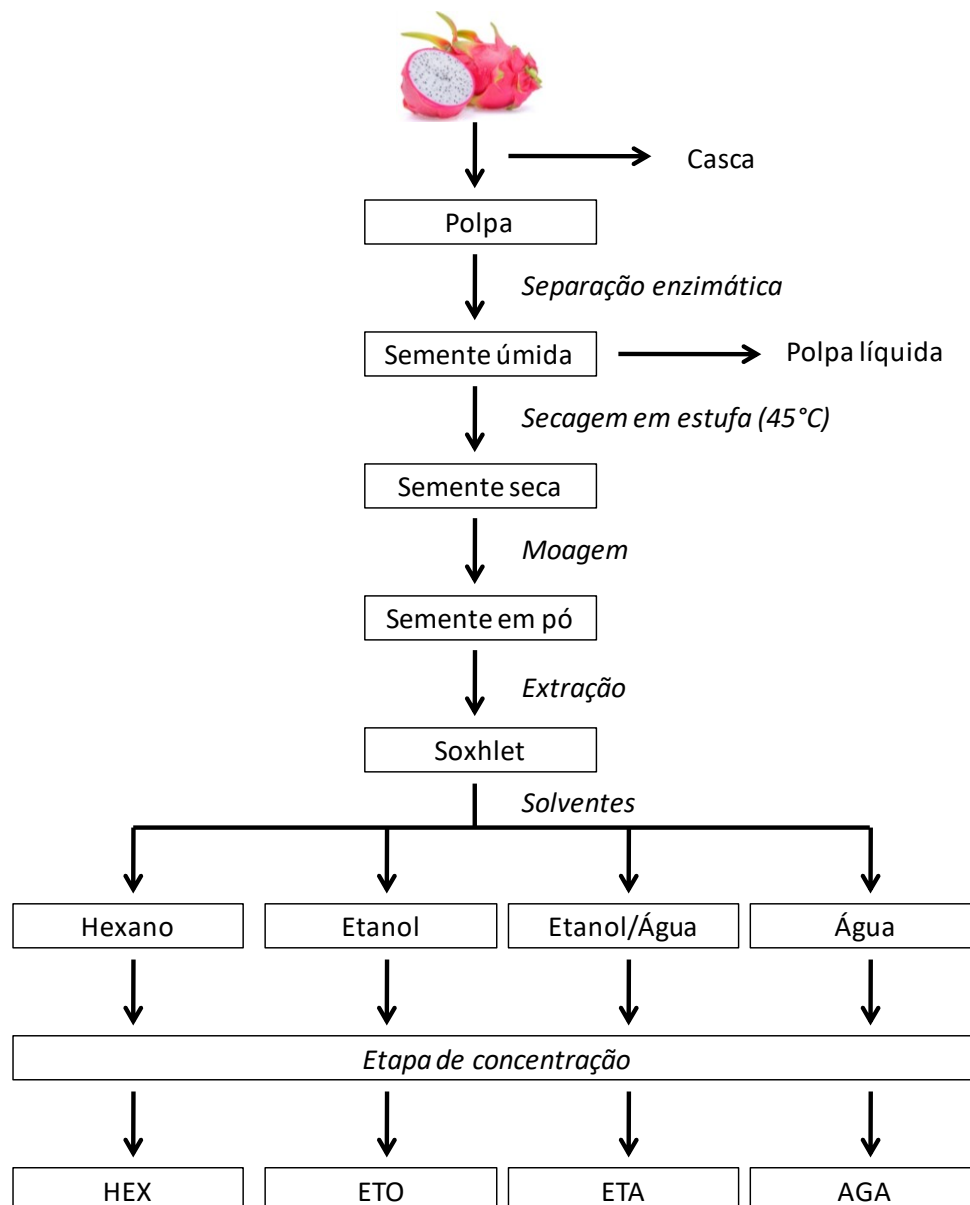
Fonte: Própria autora (2021)

Os solventes utilizados na extração foram selecionados de modo a oferecerem índices de polaridades crescentes. Os solventes usados foram: hexano P.A., (Neon, Brasil); etanol 99,5 % (Neon, Brasil), a solução etanol:água (1:1 v/v) e água, com índices de polaridade, respectivamente, de 0,0; 5,2; 7,1 e 9,0 (POOLE, 2019 b; REICHARDT, 2003). Com exceção do hexano, os demais solventes são considerados Geralmente Reconhecidos como Seguro (GRAS) (do inglês: *Generally Recognized as Safe*) (SANTOS *et al.*, 2019b). Embora o hexano não seja um solvente GRAS, é amplamente aplicado industrialmente para a extração de óleo, uma vez que após o processo, este é removido. Todos os ensaios foram efetuados em triplicata, na temperatura de ebulição dos solventes.

Após a extração, o solvente residual foi removido com auxílio de evaporador rotativo a vácuo, aplicando-se as temperaturas no banho de 45 °C; 65 °C; 40 °C e 100 °C, para extratos com os solventes: etanol (ETO), etanol:água (ETA), hexano (HEX) e água (AGA), respectivamente, conforme descrito por Cruz *et al.* (2017). Os extratos concentrados foram transferidos para frasco âmbar, hermeticamente fechados e

armazenados, na ausência de luz, a temperatura de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Um fluxograma ilustrativo da metodologia pode ser observado na Figura 9.

Figura 9 – Fluxograma do preparo da amostra e obtenção dos extratos de semente de pitaya *H. undatus*



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

#### 2.2.4 Rendimento global da extração

O rendimento global da extração ( $X_0$ ) foi calculado como o percentual de massa de extrato ( $m_{extrato}$ ) em relação à massa total da amostra, em base úmida ( $m_A$ ) por meio da Equação 3 (FERRO *et al.*, 2019). Os balões e os meios filtrantes foram secos previamente em estufa à  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  para a remoção da umidade residual.

$$X_0(\%) = \frac{m_{extrato}}{m_A} \cdot 100 \quad (3)$$

### 2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para avaliação dos valores médios do tamanho médio de partícula e o rendimento da extração das sementes de pitaya em pó, foi aplicado a análise de variância (ANOVA) seguida pelo Teste de Tukey com diferença significativa de 5 % entre os valores, utilizando o software statistica 7.0<sup>®</sup> (Statsoft, Tulsa, OK, EUA).

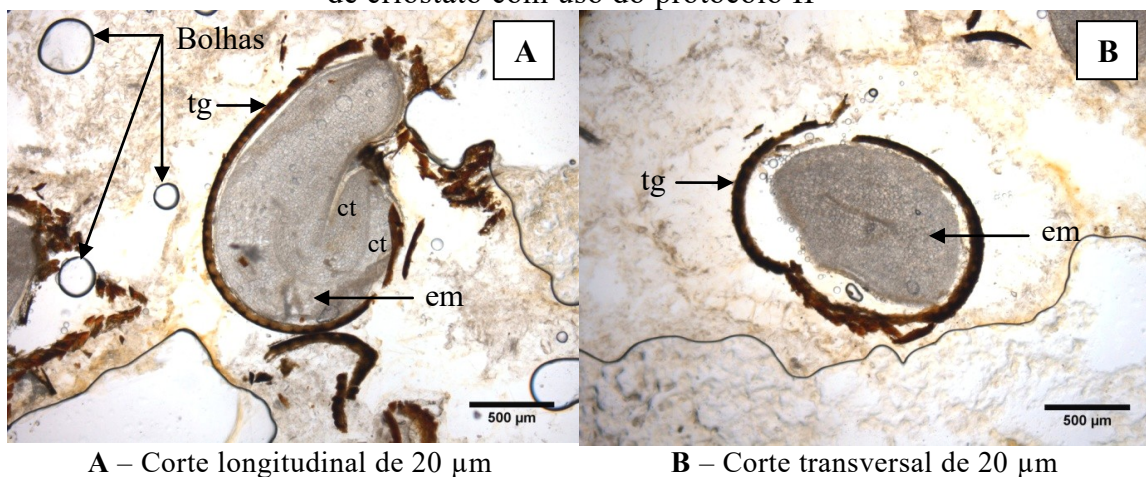
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. MICROSCOPIA

Nos ensaios de criostato com as sementes de pitaya, as melhores imagens em microscopia observadas, foram obtidas a partir de cortes histológicos espessos, de 20  $\mu\text{m}$ , após a aplicação do protocolo II (Figura 10). No entanto, cortes espessos dificultaram a observação da organização celular nas sementes, já que a luz não tem uma boa passagem através da amostra. De acordo com Ventrella *et al.* (2014) é comum que cortes histológicos, obtidos a partir de um material sem inclusão, sejam mais espessos e que alguns compostos possam ser “arrastados” do seu local de origem durante o seccionamento, como ocorreu com os corpos lipídicos, que discutiremos na sequência.

Na microscopia apresentada na Figura 10 observa-se a presença de dois cotilédones (cl) no embrião e certa diferenciação celular nas regiões relativas aos cotilédones, porém, não foi possível examinar claramente essas estruturas celulares. A presença de dois cotilédones, também, foi reportada em estudos histológicos com sementes de pitaya dos gêneros *Hylocereus* e *Selenicereus* (CISNEROS; GARCIA; TEL-ZUR, 2011; SUÁREZ-ROMÁN *et al.*, 2012). Embora mais preservado do que nas demais técnicas, o tegumento, em algumas regiões da semente, foi fragmentado em pequenas partes e arrancado da proximidade com o embrião. Além disso, as imagens mostram cortes com a presença de bolhas de ar e água nas lâminas, considerados defeitos durante o preparo das lâminas (Figura 10).

Figura 10 – Microscopia de semente de pitaya *H. undatus* após aplicação da técnica de criostato com uso do protocolo II



A – Corte longitudinal de 20 µm

B – Corte transversal de 20 µm

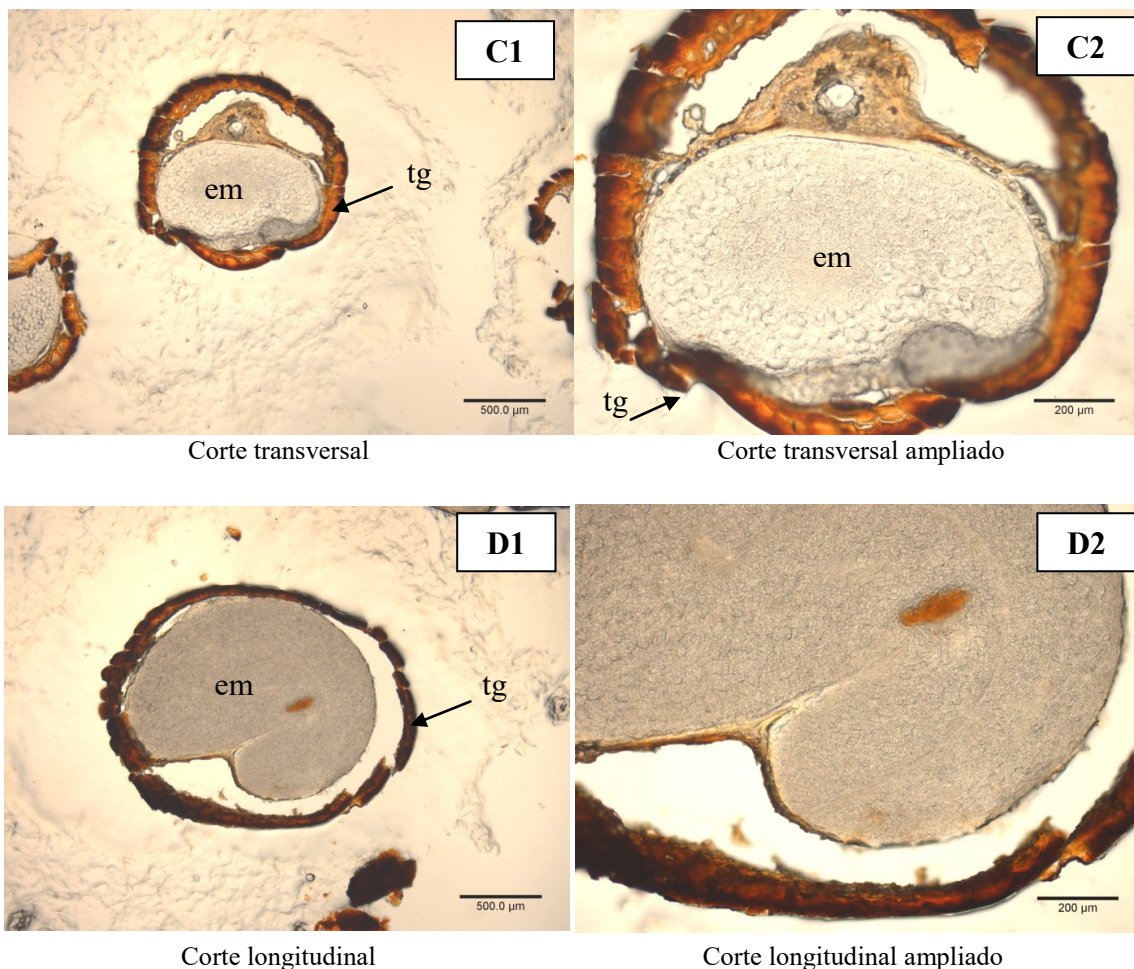
Fonte: Própria autora (2022)

\*Nota: tg - tegumento; em - embrião; ct - cotilédone.

A escala de 500 µm corresponde ao uso de objetiva de 4x.

Para os cortes em criostato, a mudança mais significativa na preparação das amostras foi o tempo da etapa de fixação, que passou de 48 horas no protocolo II para 10 dias, com a aplicação de vácuo, no protocolo III. Essa mudança teve o objetivo de favorecer o processo de difusão do fixador glutaraldeído para o interior do tecido da semente, já que o tegumento acaba atuando como uma barreira. Como resultado, foi possível obter cortes histológicos de 8 µm sendo, portanto, mais delgados do que os obtidos no protocolo II. Imagens de microscopia de sementes de pitaya, obtidas por meio do protocolo III, podem ser observadas na Figura 11.

Figura 11 – Microscopia de sementes de pitaya *H. undatus* após aplicação da técnica de criostato com uso do protocolo III



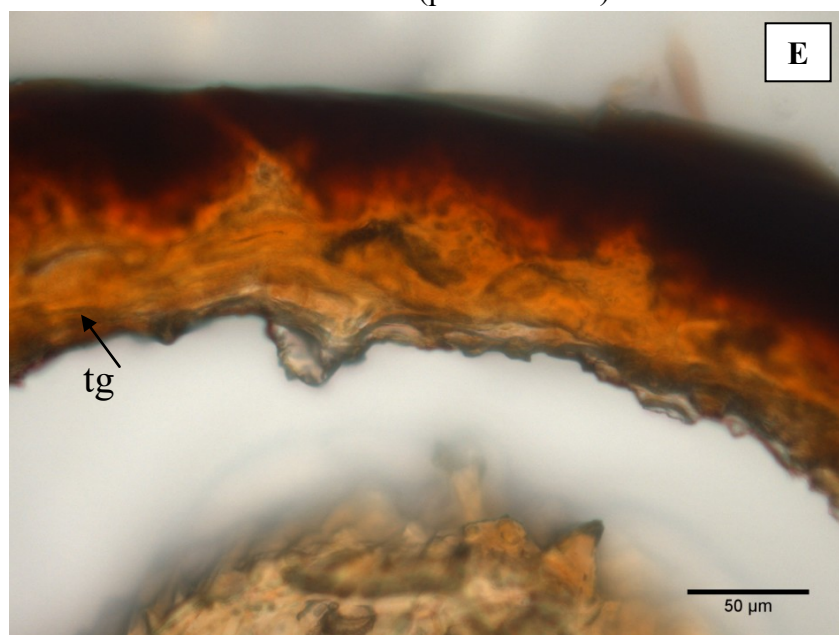
Fonte: Própria autora (2022)

\*Nota: Imagens com cortes histológicos de 8 µm. tg - tegumento; em - embrião; ct – cotilédone. A escala de 500 µm corresponde ao uso de objetiva de 4x e a escala de 200 µm corresponde ao uso de objetiva de 10x.

Observou-se que nos cortes obtidos após aplicação do protocolo III, o tegumento permaneceu mais preservado em comparação ao protocolo II, estando mais localizado próximo da região do embrião, ao qual se encontra ligado (Figura 10, Figura 11/ C1 e C2). Além disso, podemos notar que a coloração do tegumento foi escurecendo conforme o tecido ocupou uma região mais externa da semente, assumindo uma coloração de marrom escura a preto (Figura 12). Esta coloração mais escura observada nas sementes, se deve a sua maturidade fisiológica. De acordo com Bewley *et al.* (2013) há acúmulo de proantocianidinas (pigmentos flavonoides) no tegumento durante os estágios iniciais do desenvolvimento da semente. Esses pigmentos, originalmente produzidos como compostos incolores, são oxidados durante a maturação e conferem

uma cor marrom escura à semente madura. Outro fator associado à coloração marrom escuro ou preta dos tegumentos, se deve ao acúmulo de lignina nas sementes durante o processo de amadurecimento, levando à mudanças na cor (CISNEROS; GARCIA; TELZUR, 2011). Vale destacar que o tegumento é um tecido de proteção com elevada complexidade, sendo extremamente importante na manutenção da viabilidade e do vigor das sementes. Além disso, é responsável pelo controle do processo de absorção de água, estando associado com o processo de dormência da semente. Do ponto de vista da conservação das sementes, este tecido é responsável pelas trocas gasosas do embrião com o meio externo e pela proteção contra os impactos mecânicos ocorridos durante a colheita e beneficiamento (PESKE; FILHO; BARROS, 2006).

Figura 12 – Tegumento da semente de pitaya *H. undatus* preservado durante o corte em criostato (protocolo III)



Fonte: Própria autora (2022)

\*Nota: Corte histológico de 8 µm. tg – tegumento. A escala de 50 µm corresponde ao uso de objetiva de 40x

Nas microscopias apresentadas na Figura 11 (D1, D2) também foi possível identificar a presença dos dois cotilédones (cl). Isso pode ter uma relação com a região do corte na semente, já que foi realizado um corte seriado, levando a obtenção de cortes mais afastados da região central das mesmas, ou seja, cortes mais periféricos. Embora mais delgados, os cortes histológicos permitiram observar a morfologia das estruturas celulares, não podendo, portanto, diferenciá-las por meio desta análise.

Tanto a coloração mais escurecida do tegumento, quanto a identificação dos dois cotilédones no embrião, evidenciaram a maturidade fisiológica das sementes, uma vez que foram obtidas de frutas maduras. As sementes de pitaya da espécie *Hylocerus* são exendospermas, ou seja, desprovidas de endosperma quando maduras. Isso ocorre porque o endosperma é consumido durante a embriogênese (CISNEROS; GARCIA; TEL-ZUR, 2011). De acordo com Bewley *et al.* (2013), em sementes, o embrião maduro é caracterizado pela presença de cotilédones, cuja presença de dois, define embriões de plantas dicotiledôneas. Isso ocorre porque em dicotiledôneas, o endosperma, inicialmente presente, é hidrolisado e transportado para o embrião antes da maturidade da semente. Desta forma, sementes maduras de dicotiledôneas não possuem endosperma e, sim, cotilédones. Estes ocupam quase toda a semente e são os principais órgãos de reserva de carboidratos, lipídeos e proteínas, os quais serão necessários para o desenvolvimento posterior da plântula no processo de germinação (PESKE; FILHO; BARROS, 2006).

Sabendo que no embrião os cotilédones são os principais órgãos de reserva das sementes de pitaya e, tendo conhecimento de que estas sementes têm os lipídeos como o seu principal constituinte, foi realizado um ensaio histoquímico para observar como este componente estava histologicamente organizado e distribuído nessas sementes. Esse ensaio foi conduzido somente em cortes histológicos das sementes obtidas por meio da técnica de criostato, uma vez que os lipídeos não são deslocados e nem quimicamente alterados durante o congelamento da amostra. As imagens de microscopia dos ensaios histoquímicos para lipídeos em semente de pitaya *H. undatus*, podem ser observadas na Figura 13.

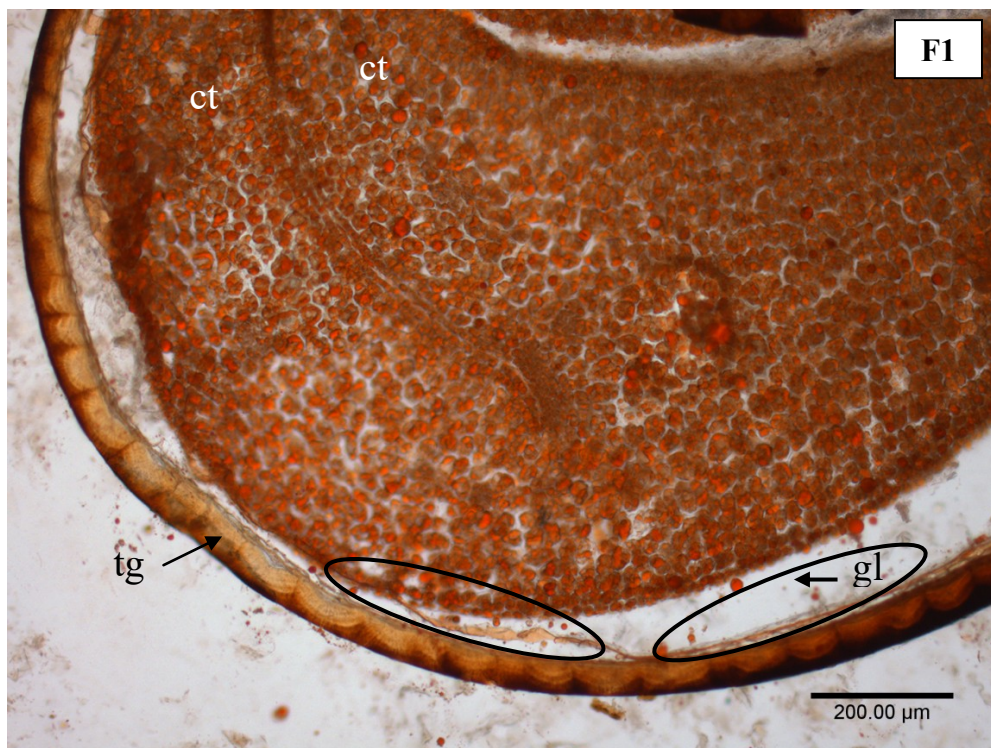
As microscopias evidenciaram que os lipídeos se encontravam localizados no citoplasma celular na forma de organelas, distribuídos em todo o embrião (Figura 13 - F2). Sua organização, em forma de pequenas e diversas gotículas, é apontada por setas na imagen F2, seguida da abreviação cl, que significa corpos lipídicos. Estas observações estão de acordo com relatos de outros estudos que apontam que em sementes, os lipídeos de reserva são armazenados em organelas celulares específicas, conhecidas como corpos lipídicos (corpos oleosos ou graxos), depositados no citoplasma sob a forma de triglicerídeos (BEWLEY *et al.*, 2013; PESKE; FILHO; BARROS, 2006). Os corpos lipídicos, também conhecidos como gotículas lipídicas, glóbulos lipídicos e corpos de óleos são constituídos de um núcleo lipídico limitado por



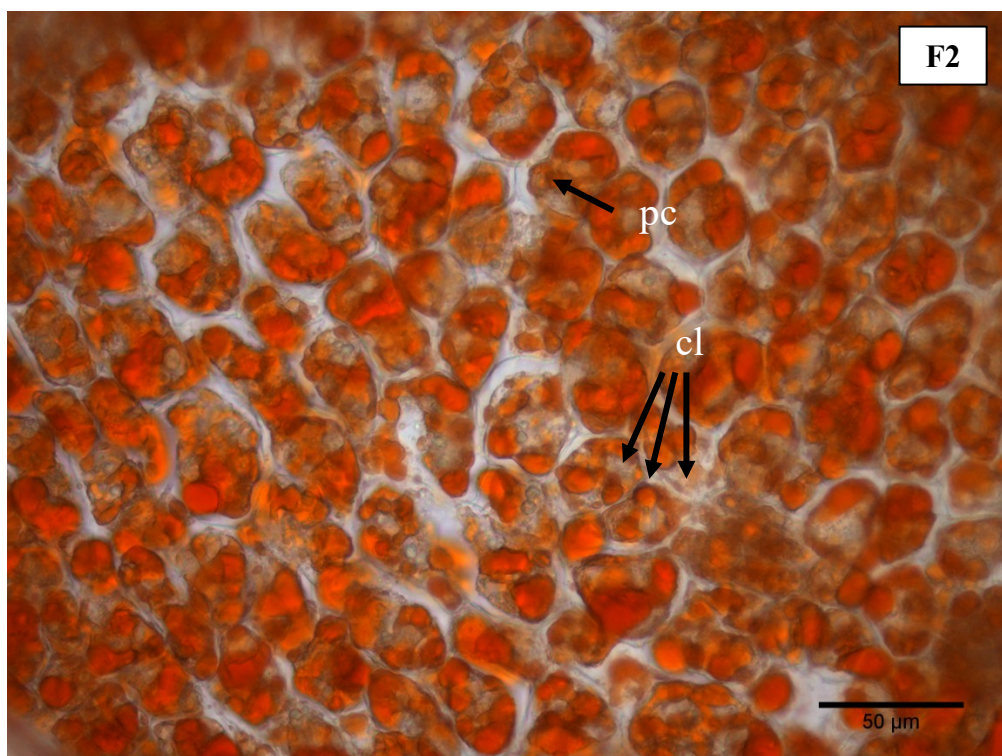
uma membrana monocamada fosfolipídica, incluindo proteínas. Eles ocorrem em todos os principais grupos de plantas, se diferenciando pelo tamanho, podendo apresentar diferenças quanto à composição química e na organização de membranas lipoproteicas (PAUTOVA *et al.*, 2016). Corpos lipídicos presentes nos cotilédones, também foram observados em sementes de mamona (*Ricinus communis*) e em sementes de camu-camu, também foram encontrados no citosol das células do embrião (PEREA-FLORES *et al.*, 2011; RIBEIRO *et al.*, 2021).

Observou-se, ainda, que os corpos lipídicos sofreram um deslocamento dos cotilédones em direção à região da epiderme do tegumento (Figura 13-F1). Os corantes específicos para identificação de lipídeos (como Sudan aplicado neste estudo) coram parte do citoplasma onde se localizam os corpos lipídicos (não visíveis em microscopia de luz) e gotículas lipídicas (gl), formadas durante o seccionamento do material (VENTRELLA *et al.*, 2014). Conforme Perea-Flores *et al.* (2011), cortes realizados no tecido, induzem o desenvolvimento das gotículas lipídicas devido à coalescência dos corpos lipídicos. Além disso, o corte produz abundância de corpos lipídeos e gotículas lipídicas, permitindo a difusão de óleo do endosperma ou embrião até a borda da epiderme.

Figura 13 – Microscopia do ensaio histoquímico para lipídeos em sementes de pitaya *H. undatus* por criostato



F1: Corte longitudinal de 20 µm



F2: Corte longitudinal de 20 µm ampliado

Fonte: Própria autora (2022)

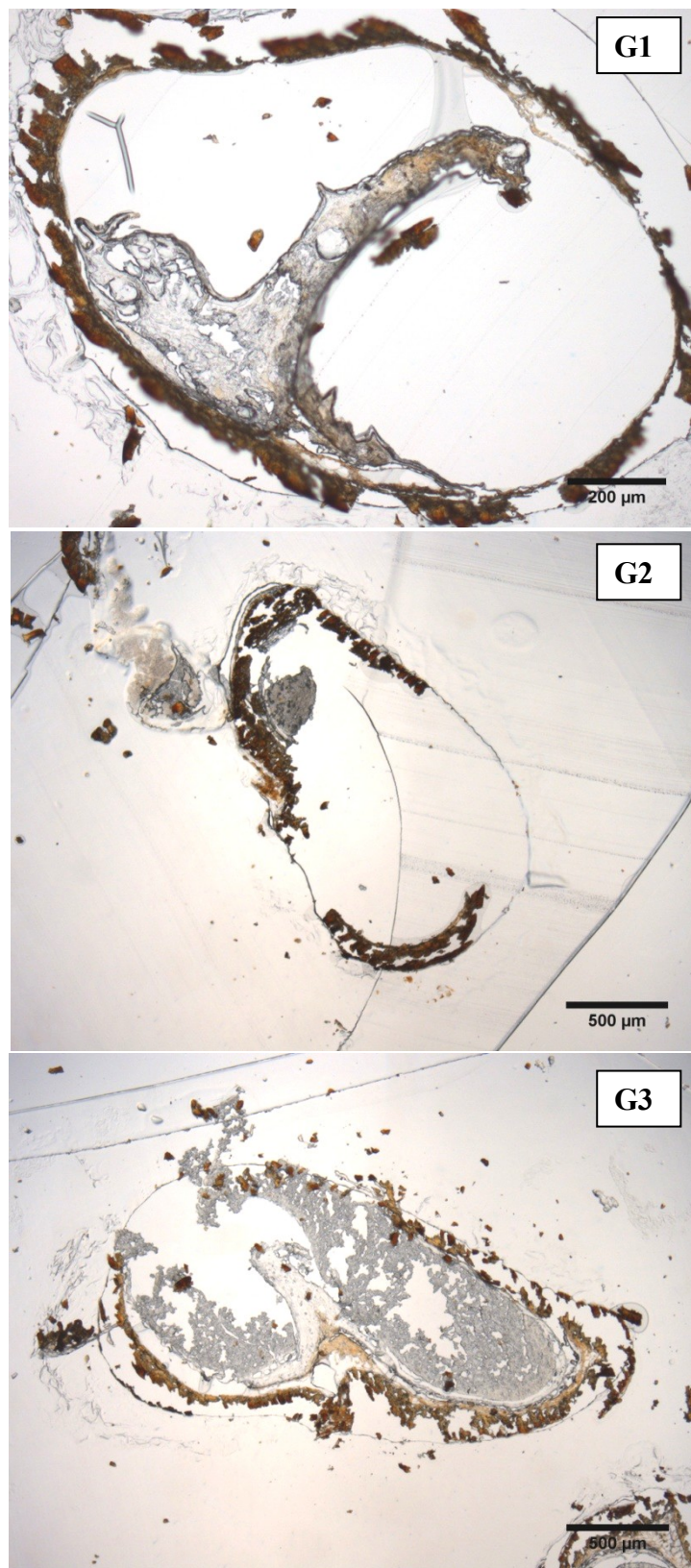
\*Nota: tg – tegumento; cl – corpos lipídicos; ct – cotilédone; gl- gotículas lipídicas; pc – parede celular. A escala de 200 µm corresponde ao uso de objetiva de 10x e a escala de 50 µm corresponde ao uso de objetiva de 40x

Com a finalidade de obter cortes histológicos de melhor qualidade nas sementes de pitaya, e buscando uma alternativa ao criostato e a parafina, foi utilizada a técnica de inclusão em resina aplicando-se a historesina (hidroxietil metacrilato ou glicol metacrilato). Esta técnica tem sido frequentemente aplicada no preparo de sementes para estudos histológicos em microscopia (CORTE *et al.*, 2008; DE OLIVEIRA *et al.*, 2012; GALASTRI; OLIVEIRA, 2010; LEITÃO, 2019; RIBEIRO; OLIVEIRA, 2014). A escolha por esta técnica se deveu a sua grande utilidade no estudo histológico e citológico de diversos tecidos vegetais e animais, conseguindo oferecer suporte mecânico ao tecido durante o seccionamento e por manter uma excelente integridade morfológica (LEITÃO, 2019).

Ainda que o protocolo aplicado tenha seguido etapas rigorosas de preparo, não garantiu a integridade da semente durante o corte histológico. Foi observado um tecido muito rígido, que durante a maioria dos cortes, foi arrancado do bloco de historesina. Embora nessa técnica seja possível obter cortes histológicos mais delgados, justamente pela presença dessa resina que promove a fixação da amostra, nas imagens apresentadas na Figura 14 (G1, G2 e G3), com cortes histológicos de 6  $\mu\text{m}$ , pode-se observar a falta de integridade dos tecidos da semente. Enquanto o tegumento foi fracionado em pequenos pedaços (G1, G2 e G3), o embrião foi arrancado parcial (G3) ou integralmente dos blocos (G2).

A falta de integridade do tecido pode estar associada à etapa de infiltração, que pode ter sido incompleta devido à dificuldade de difusão da resina para o interior da semente, mesmo que esta etapa tenha contado com a aplicação de vácuo em um período de 15 dias. Conforme Ribeiro e Oliveira (2014), tegumentos que apresentam características rígidas podem afetar a permeabilidade nas sementes, tendendo a limitar a etapa de inclusão com resinas. De acordo com estes mesmos autores, os cortes obtidos, em geral, não são adequados para ensaios em microscopia de luz, uma vez que o embrião pode não ser preservado. Uma das razões para a dureza de tegumentos de sementes se deve à presença de camadas lignificadas, a presença de celulose e deposição de compostos fenólicos, ambos que são comumente encontrados nas sementes de várias famílias. A lignina está amplamente distribuída em tegumentos de sementes *H. undatus*, conforme descrevem Cisneros; Garcia e Tel-Zur (2011). Segundo estes autores, a deposição e acúmulo de lignina no tegumento de sementes dessa espécie, ocorre durante o seu amadurecimento, processo este chamado de lignificação.

Figura 14 – Microscopias de sementes de pitaya *H. undatus* emblocadas em historesina e sem preservação dos tecidos



\*Nota: Cortes histológicos de 6 e 10µm. A escala de 500 µm corresponde ao uso de objetiva de 4x e a escala de 200 µm corresponde ao uso de objetiva de 10x

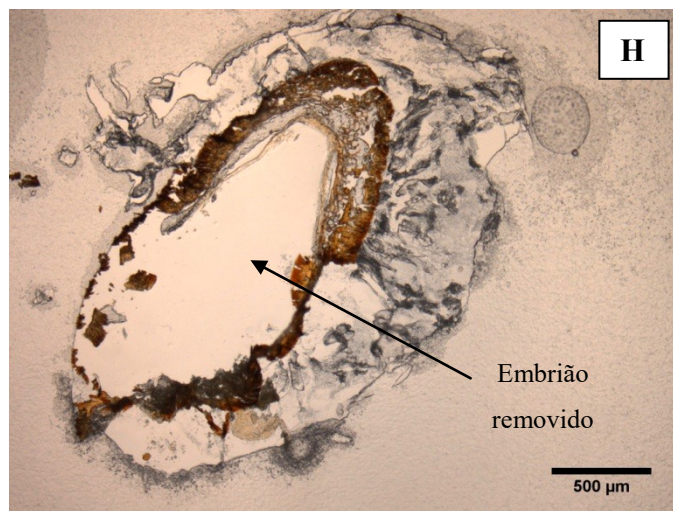
Fonte: Própria autora (2022)

Segundo Ribeiro e Oliveira (2014), umas das alternativas para a obtenção de cortes histológicos de melhor qualidade em sementes, aplicando-se a técnica de historesina, seria estender o tempo das etapas de infiltração e inclusão. Segundo estes autores, as maiores dificuldades relativas ao processamento de sementes são geralmente encontradas nestas etapas. Isso sugere que para sementes de pitaya, 15 dias de infiltração não foram suficientes para a obtenção de cortes com tecidos preservados. Esse comportamento não foi observado em ensaios com sementes de quinoa incluídas em historesina (VAN DE VONDEL; LAMBRECHT; DELCOUR, 2022), isso porque foi adicionada uma etapa anteriormente à aplicação do protocolo, onde foram mantidas em água a 100 °C por 5 a 15 minutos. Ainda que não fosse o objetivo desses autores, a “cocção” pode ter contribuído para o amolecimento do tegumento e facilitado a inclusão da historesina. Ribeiro e Oliveira (2014) sugerem que a inclusão com historesina, combinada com técnicas de amolecimento da matriz, podem oferecer uma alternativa interessante na obtenção de cortes histológicos de melhor qualidade. Vale destacar que as sementes de pitaya são naturalmente úmidas, visto que estão contidas na polpa da fruta altamente hidratada, o que dispensaria uma etapa de hidratação.

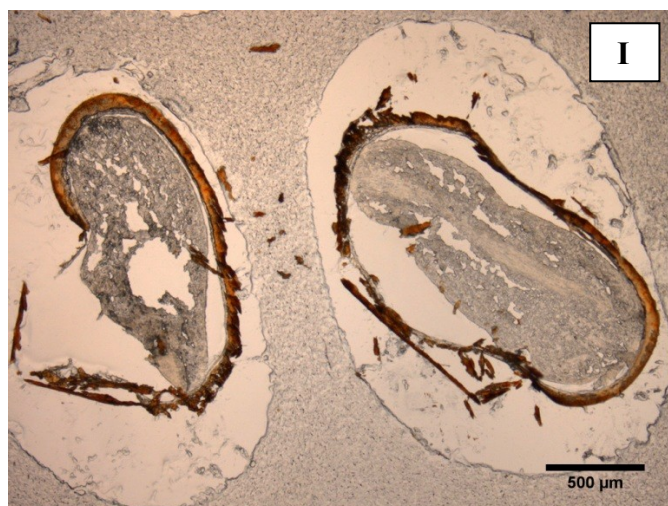
Outros fatores também podem estar associados a problemas observados durante a microtomia, como: a etapa de processamento e formação de dentes na navalha durante os cortes, este último, com ocorrência frequente durante os cortes histológicos das sementes de pitaya. A formação de dentes na navalha, que ocorre especialmente em função da rigidez do tecido vegetal durante o corte, pode causar arranhaduras ou cortes divididos em segmentos. A fragmentação do tecido também pode ocorrer pela remoção incompleta do etanol, o que dificultaria o processo de infiltração e fixação da resina no tecido (CAPUTO; GITIRANA; MANSO, 2010).

O uso de parafina no preparo de tecidos para cortes histológicos foi uma alternativa aplicada às sementes de pitaya, dado que é uma técnica amplamente utilizada no preparo de tecidos biológicos e de custo relativamente baixo, porém não menos trabalhosa do que a técnica com historesina. Nas micrografias das sementes preparadas por meio dos protocolos II e III (Figuras 15 e 16) observou-se, na maioria dos cortes, que o embrião foi separado do tegumento (imagens H e M), ou removido completamente do tecido (imagem N). Na imagem O (Figura 16) é possível observar um corte histológico em que são apontadas regiões onde o tecido foi completamente removido do bloco, deixando apenas um espaço vazio.

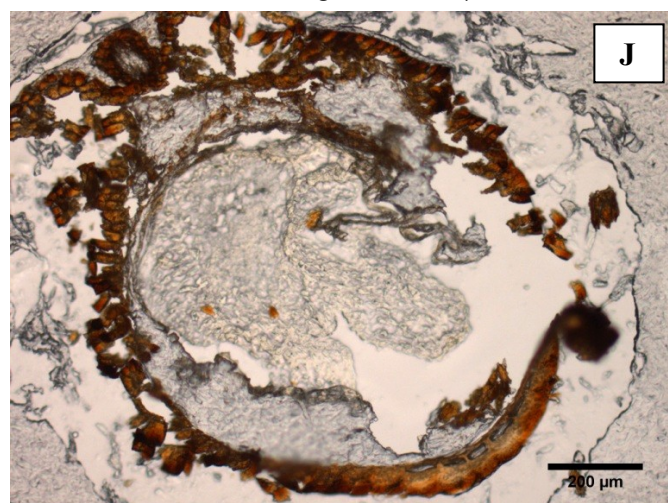
Figura 15 – Microscopias de sementes de pitaya *H. undatus* emblocadas em parafina com protocolo II



H – Corte longitudinal de 8μm



I – Corte longitudinal de 8μm

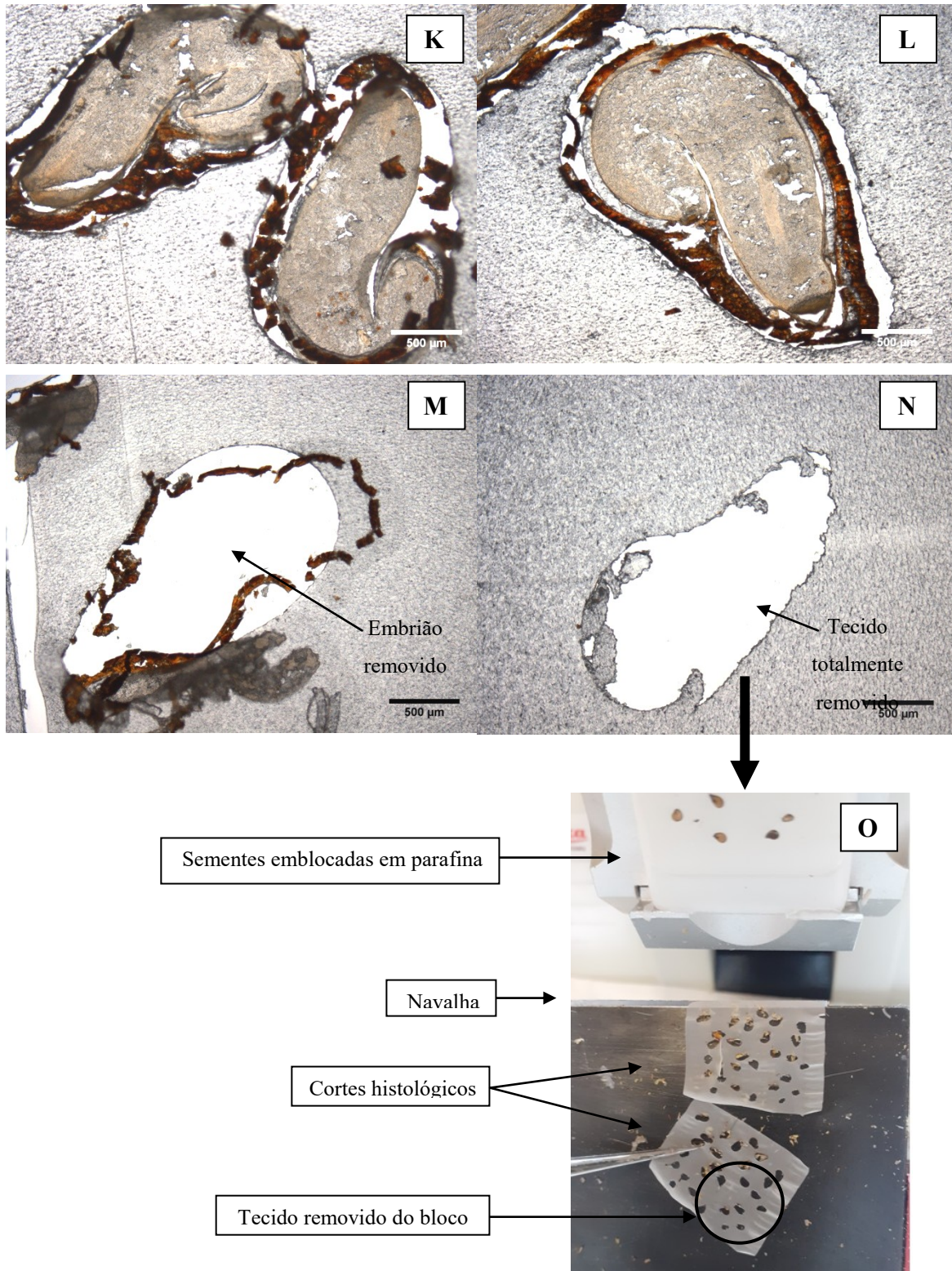


J – Corte transversal de 8μm

Fonte: Própria autora (2022)

\*Nota: A escala de 500 μm corresponde ao uso de objetiva de 4x e a escala de 200 μm corresponde ao uso de objetiva de 10x

Figura 16 – Microscopias de sementes de pitaya *H. undatus* emblocadas em parafina com protocolo III (K, L, M e N) e imagem de corte histológico em micrótom (O)



Fonte: Própria autora (2022)

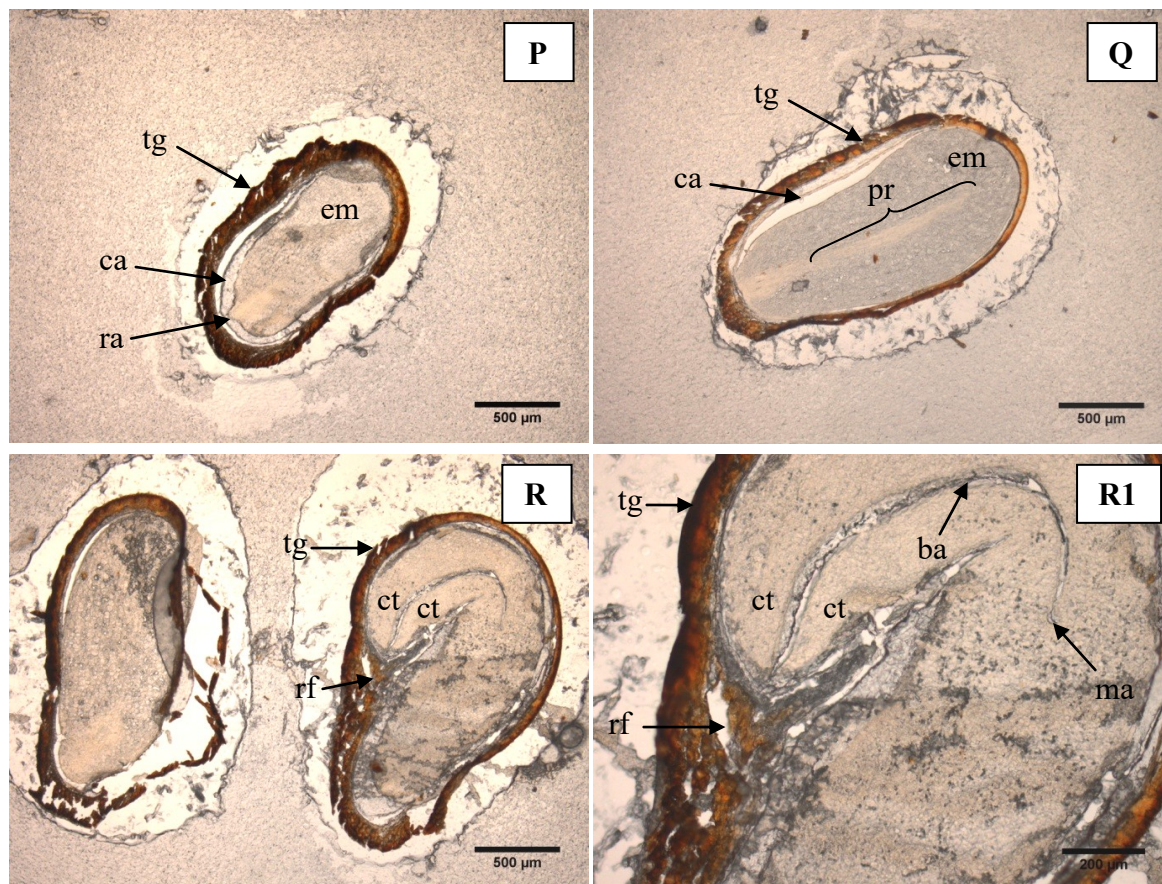
\*Nota: Cortes histológicos longitudinais de 20 µm. A escala de 500 µm corresponde ao uso de objetiva de 4x

Ainda que muitos dos cortes não tenham sido satisfatórios, foi possível obter micrografias que indicaram tecidos mais preservados (Figuras 15 e 16; imagens I, K e L), especialmente para sementes preparadas por meio do protocolo II, o qual favoreceu a obtenção de cortes mais delgados de 8  $\mu\text{m}$  em comparação aos de 20  $\mu\text{m}$  obtidos por meio do protocolo III. Além disso, durante a microtomia, o tegumento esteve mais preservado em sementes preparadas por meio da técnica de parafina do que em historesina (Figuras 14, 15 e 16). Micrografias de sementes de pitaya da espécie *Selenicereus megalanthus*, após inclusão em parafina, também apresentaram tecidos preservados após a microtomia (SUÁREZ-ROMÁN *et al.*, 2012). Embora Ribeiro e Oliveira (2014), sugiram que as técnicas de inclusão com historesina sejam mais adequadas para sementes pequenas com tegumento rígido, uma vez que a parafina costuma causar quebra do bloco durante a microtomia, para este estudo com sementes de pitaya, a parafina mostrou-se ser mais adequada do que a historesina, uma vez que a qualidade dos cortes permitiu a observação de alguns constituintes da semente (Figuras 17 e 18). A inclusão com parafina também permitiu cortes, cujas micrografias indicaram tecidos preservados também para sementes de pitaya da espécie *Selenicereus megalanthus* (SUÁREZ-ROMÁN *et al.*, 2012).

Enquanto as micrografias das sementes de pitaya, obtidas por meio do protocolo II (Figura 17), permitiram a observação de estruturas morfológicas por meio de cortes mais delgados (8  $\mu\text{m}$ ), as micrografias referentes a aplicação do protocolo III (Figura 18) proporcionaram a observação de maior número de constituintes da semente, embora os cortes fossem mais espessos (20  $\mu\text{m}$ ). Observaram-se, em ambas as microscopias, sementes com o tegumento mais preservado e próximo do embrião. O embrião também se mostrou menos danificado permitindo a observação de alguns dos seus constituintes.



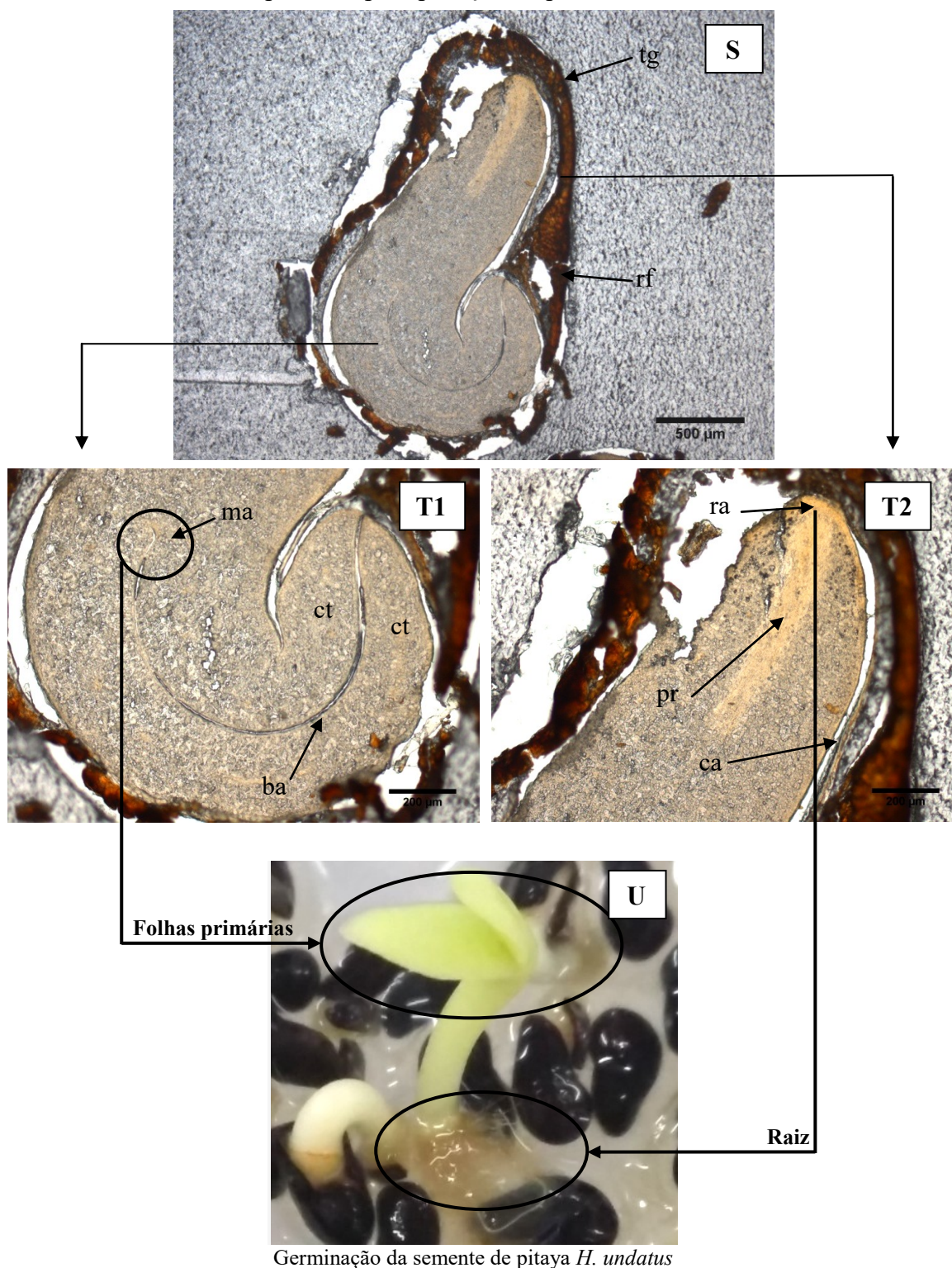
Figura 17 – Microscopias de sementes de pitaya *H. undatus* emblocadas em parafina com protocolo II com cortes histológicos mais preservados



Fonte: Própria autora (2022)

\*Nota: Cortes histológicos longitudinais de 8 µm. Imagens P e Q, cortes mais periféricos e imagens R e R1, cortes mais medianos. tg – tegumento; em – embrião; ca – cutícula do tegumento interno; ra – meristema apical da raiz (radícula); pr – próambio; rf – rafe; ma – meristema apical caulinar. A escala de 500 µm corresponde ao uso de objetiva de 4x e a escala de 200 µm corresponde ao uso de objetiva de 10x.

Figura 18 – Microscopia de cortes histológicos de semente de pitaya *H. undatus* em parafina, por aplicação do protocolo III



Germinação da semente de pitaya *H. undatus*

Fonte: Própria autora (2022)

\*Nota: Cortes histológicos longitudinais de 20 μm. ct – cotilédone; tg – tegumento; em – embrião; ca – cutícula do tegumento interno; ra – meristema apical da raiz (radícula); pr – procambio; rf – rafe; ma – meristema apical caulinar; ba – bainha protetora do cotilédone. A escala de 500 μm corresponde ao uso de objetiva de 4x e a escala de 200 μm corresponde ao uso de objetiva de 10x.

Além do tegumento (tg) e do embrião (em), observados também nas microscopias anteriores, especialmente mais preservados em cortes por técnica de criostato (Figuras 10, 11 e 16), as microscopias por inclusão em parafina, Figuras 17 e 18, proporcionaram a observação de outros constituintes do embrião. Destaque para a cutícula (ca) (imagens P, Q e T1) de coloração parda clara, que parece rodear fortemente o embrião, com a presença da cicatriz da rafe (rf) (imagens R1 e S). Esta cicatriz é parte do hilo que permaneceu unida ao tegumento da semente (SUÁREZ-ROMÁN *et al.*, 2012). Os cotilédones (ct) foram identificados no embrião, cuja localização, um em relação ao outro, se deu em posição dorsal (superior) e ventral (inferior). A bainha protetora do cotilédone (ba) também foi identificada. Os cotilédones são órgãos de armazenamento de componentes de reserva, os quais são destinados a oferecer energia e moléculas orgânicas capazes de sustentar o crescimento do embrião durante o processo de germinação (POPINIGIS, 1985). Também foi possível observar a presença do procâmbio (pr) e os meristemas apicais da parte aérea (caulinar) (ma) e da raiz (radicular) (ra) (imagens P, T1 e T2). A presença dessas estruturas celulares também foi relatada em estudos histológicos com sementes de pitaya do gênero *Hylocereus* e/ou da espécie *Selenicereus megalanthus* (CISNEROS; GARCIA; TELZUR, 2011; SUÁREZ-ROMÁN *et al.*, 2012).

O meristema apical caulinar em dicotiledôneas se encontra entre os dois cotilédones. O crescimento da futura planta, a partir do embrião, só é possível pela presença dos meristemas apicais. Estes meristemas aparecem nos dois polos do eixo embrionário: polo proximal (ou de raiz) e o polo distal (ou apical) do caule, como observado na Figura 18 (T1 e T2). O meristema apical da raiz (ra) será responsável, durante a germinação, pela formação da raiz primária da futura planta, que por sucessivas ramificações, vai gerar um complexo sistema radicular que servirá para fixação e absorção de água e nutrientes (PESKE; FILHO; BARROS, 2006; POPINIGIS, 1985). Em sementes de pitaya *H. undatus*, esse desenvolvimento celular ocorre juntamente com a formação das duas folhas primárias, conforme pode ser observado na Figura 18, imagem U.

A descrição morfo-anatômica de sementes de pequeno tamanho e/ou com tegumento rígido pode ser dificultada devido à preparação histológica inadequada. As características físico-químicas dessas sementes tornam-se barreiras técnicas complexas para a realização de estudos histológicos, especialmente devido à dificuldade se serem

incluídas com parafina ou historesina, o que torna este tipo de estudo escasso na literatura (RIBEIRO; OLIVEIRA, 2014). Dentro deste contexto, podemos citar, sem dúvida, as sementes de pitaya, que de acordo com estes estudos preliminares, se mostraram limitantes quanto ao uso de técnicas histológicas no preparo para ensaios de microscopia.

Embora a caracterização microscópica das sementes de pitaya tenha sido um estudo preliminar, este é importante em diversos aspectos, já que pode ser considerado um avanço científico para esta matriz. Esses estudos são especialmente importantes para o estabelecimento de protocolos histológicos de qualidade, cujos cortes de qualidade permitirão uma caracterização mais detalhada. O estabelecimento dos protocolos é imprescindível para prosseguir com os estudos histoquímicos, os quais permitirão determinar a localização e organização de compostos químicos de interesse como compostos fenólicos, tocoferol, terpenos, taninos, ácidos graxos insaturados, hidratos de carbono, proteínas, lipídeos, fibras alimentares, pectinas, mucilagem, celulose entre outros. Essa determinação pode ser importante na tomada de decisão quanto à aplicação de processos de extração, para obtenção dos compostos de interesse dessas matrizes.

## 3.2 EXTRAÇÃO COM SOLVENTE

### 3.2.1 Tamanho das partículas

Os resultados de tamanho de partícula das sementes de pitaya *H. undatus*, após processo de moagem, podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 – Massa retida nas peneiras Mesh -16/+42 e diâmetro médio da partícula das sementes de pitaya orgânica em pó (*H. undatus*)

Malha (mesh)	16	20	28	32	42
Massa retida (g) Média ± dp	2,13 ± 0,69 <sup>a</sup>	6,99 ± 0,74 <sup>b</sup>	21,65 ± 0,68 <sup>c</sup>	4,69 ± 0,83 <sup>d</sup>	2,69 ± 0,36 <sup>a</sup>
Diâmetro médio da partícula ( $\bar{d}_s$ )	$\bar{d}_s$ calculado = 0,49 ± 0,09 mm				

Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

\*Nota: Mesh - 16 (1,00 mm); 20 (0,841 mm); 28 (0,595 mm); 32 (0,500 mm) e 42 (0,354 mm). A malha de Mesh 14 (1,19 mm) não reteu nenhum material.

Nota:  $\bar{d}_s$  = Diâmetro médio da partícula; \*Massa total da semente = 38,0 g ± 1,0 g.

Os pós de sementes de pitaya mostraram uma variação de tamanho entre 0,354 mm (Mesh 42) e 1,00 mm (Mesh 16), sendo estas duas medidas as que obtiveram menor retenção nas peneiras, sendo de 2,13 g e 2,69 g, respectivamente, não mostrando diferença estatística entre si. Observou-se que a maior concentração de partículas foi retida na malha de 0,595 mm (Mesh 28), responsável por reter mais da metade da massa do pó utilizado nos ensaios (57 %). Diante disso, o diâmetro médio das partículas ( $d_s$ ), calculado para esse pó, foi de 0,49 mm (Tabela 2).

Em um processo de extração sólido-líquido a distribuição do tamanho de partícula é uma variável importante, que interfere na eficiência do processo de transferência de massa. Isso ocorre porque à medida que o tamanho de partícula da matriz diminui, o soluto extraído deve cruzar caminhos difusionais mais curtos ao longo do substrato sólido (DÖKER *et al.*, 2010). Somado a isso, as barreiras de transferência de massa como paredes celulares, seriam destruídas, o que contribui para uma redução na resistência interna à transferência de massa, resultando em um aumento na taxa de extração (DE AGUIAR *et al.*, 2013).

O fracionamento das sementes de pitaya, com a redução de tamanho de partícula, rompimento do tegumento e exposição dos compostos presentes no interior da semente, pode auxiliar no processo de extração, especialmente porque podem reduzir a resistência de difusão do solvente através do tegumento, facilitando o processo de transferência de massa. Desta forma, a avaliação granulométrica dessa matriz fracionada na forma de pó é uma etapa importante da padronização do pó para o controle dos parâmetros utilizados no processo extrativo.

Segundo o estudo de Maksimovic; Ivanovic e Skala (2012), que avaliaram o efeito no tamanho da partícula de pós de folha de menta, a redução no tamanho de partícula aumentou o rendimento de extração global dessa matriz. De acordo com esses autores, o processo de moagem, além de aumentar a área interfacial, promoveu a liberação dos óleos devido o rompimento da parede celular. Assim, a moagem promoveu um aumento na superfície de transferência de massa e na disponibilização da fração solúvel nesta superfície. Döker *et al.* (2010) observou o mesmo comportamento em estudo de extração com semente de gergelim, constatando ainda, que a redução do tamanho de partícula aumentou a taxa de extração, levando a redução no tempo de processo. Conforme os autores, a liberação da fração lipídica do interior das células pelo processo de moagem, teve um efeito significativo no aumento da taxa de extração.

Avaliar o efeito do tamanho de partícula em processos de extração, de acordo com a matriz vegetal, se faz importante porque partículas muito pequenas (finas) podem promover um processo de compactação durante a extração, o que pode levar à redução no rendimento do extrato, uma vez que reduz a porosidade do leito e deixa regiões da matriz não acessíveis ao solvente (ZABOT *et al.*, 2014). Esse comportamento foi reportado em estudos de extração com diferentes diâmetros de partículas de pós de quinoa (BENITO-ROMÁN *et al.*, 2018). Segundo Sarkis *et al.* (2015), as regiões intrapartículas (ou canais) são importantes para o processo de extração sólido-líquido, mas podem ser comprimidos ou parcialmente fechados durante o processo, caso as partículas sejam muito finas.

Para sementes de pitaya o diâmetro média calculado de  $0,49 \pm 0,09$  mm mostrou-se interessante para o processo de extração, conforme será apresentado na sequência.

### 3.2.2 Rendimento global da extração

O rendimento global da extração resulta da quantidade de extrato que se pode extrair, a partir de uma matriz sólida, após aplicação de um solvente e condições de processo pré-estabelecidas, como tempo, temperatura, pressão e técnica de extração (ZABOT *et al.*, 2014). O rendimento global da extração ( $X_0$ ) das sementes de pitaya orgânica (*H. undatus*), empregando a técnica de Soxhlet com solventes de diferentes polaridades, é apresentado na Tabela 3, juntamente com o índice de polaridade dos solventes orgânicos aplicados.

Tabela 3 – Rendimento global dos extratos de sementes de pitaya orgânica em pó (*H. undatus*) por Soxhlet

Método	Solvente	Extrato	Índice de polaridade	$X_0$ (% m/m) base seca
SOX	Hexano	HEX	0,0	$27,1 \pm 1,2^b$
SOX	Etanol	ETO	5,2	$39,0 \pm 1,6^a$
SOX	Etanol:água	ETA	7,1	$16,6 \pm 0,3^c$
SOX	Água	AGA	9,0	$10,6 \pm 0,3^d$

Fonte: Própria autora (2022)

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma coluna apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ )

O rendimento das extrações variaram de 10,6 % a 39,0 %, indicando o bom desempenho da técnica de extração. A variação significativa do rendimento, observada entre os extratos, está associada à afinidade química dos constituintes da semente em relação aos solventes empregados. A extração por Soxhlet tem sido reportada como uma técnica que promove alto rendimento, especialmente quando comparada às técnicas de extração não tradicionais. As elevadas temperaturas, o tempo de processo e a reciclagem dos solventes contribuem para aumentar a extração por esta técnica (FERRO *et al.*, 2019). Segundo Lasta *et al.* (2019) o aumento da temperatura causa a redução na tensão superficial e na viscosidade do solvente, favorecendo a solubilização de diferentes componentes. Isso faz com que o solvente acesse sítios ativos dentro da matriz sólida, permitindo maiores interações soluto-solvente, aumentando à solubilização do soluto.

Os rendimentos dos extratos de sementes de pitaya observados são muito promissores, especialmente, devido à possibilidade de obtenção de produtos de alto valor agregado e, também, devido à possibilidade de melhora no manejo dessas sementes, uma vez que elas podem ser descartadas na forma de resíduo.

A utilização do solvente etanol:água (7,1), com índice de polaridade intermediário em relação ao etanol (5,2) e à água (9,0), demonstrou uma eficiência ligeiramente maior em termos de rendimento global, quando comparado a água (Tabela 3). Conforme Santos *et al.* (2019), o uso combinado de água e um solvente orgânico podem facilitar a extração de compostos químicos solúveis nesta mistura. Isso ocorre porque em uma mistura binária, um solvente poderia melhorar a solubilidade do soluto, enquanto o outro aumentaria a dessorção do soluto. Somado a isso, a solubilidade de um composto orgânico está diretamente relacionada com a estrutura molecular, especialmente com a polaridade das ligações (MARTINS; LOPES; ANDRADE, 2013).

Dentre os solventes utilizados na obtenção dos extratos de semente de pitaya, o etanol foi o solvente que promoveu o extrato com maior rendimento (ETO = 39 %), seguido pelo hexano (HEX = 27,1 %) (Tabela 3). Esse resultado sugere que as sementes de pitaya *H. undatus* possuem, em sua maioria, compostos com caráter apolar e de média polaridade. Resultado similar foi reportado por Adnan; Osman e Abdul Hamid (2011) com sementes de pitaya (*H. polyrhizus*), contudo, o rendimento de extração com hexano foi superior ao observado com etanol (26,9 % e 15,4 %, respectivamente). Essa diferença nos rendimentos pode estar associada à fatores intrínsecos das sementes, bem como, método de extração e, especialmente, a temperatura aplicada. A temperatura de

extração altera a solubilidade dos compostos no solvente e modifica parâmetros de transferência de massa como a difusividade e mobilidade molecular (ARRUDA *et al.*, 2021; TREYBAL, 2007).

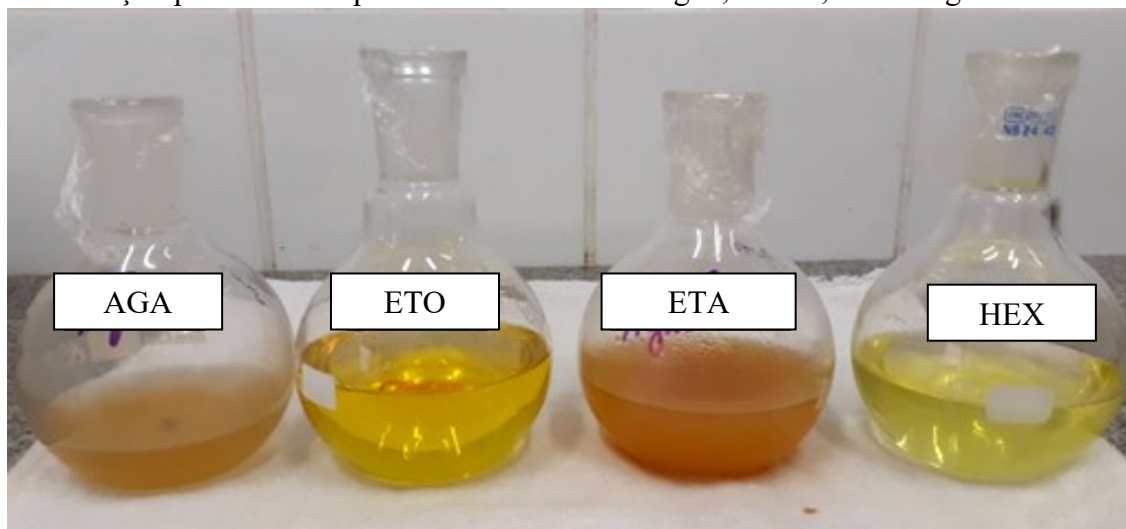
Villalobos-Gutiérrez *et al.* (2012) avaliaram o perfil de ácidos graxos das frações lipídicas extraídas de sementes de pitaya roxa, aplicando a técnica de Soxhlet com hexano, destacando a presença elevada de ácidos graxos insaturados nesses extratos. No trabalho de Rui *et al.* (2009) foram aplicadas diferentes técnicas de extração em sementes de pitaya *H. undatus* utilizando solventes de baixa polaridade (hexano e dióxido de carbono) e de alta polaridade (água) e reportaram que os rendimentos de extração, para todas as técnicas utilizadas, foram inferiores a 8 %. Em estudos de extração aplicados a outras sementes, Cruz *et al.* (2017) obtiveram extratos de sementes de butiá utilizando Soxhlet e obtiveram rendimento inferior ao obtido neste estudo, apresentando valores de 17,5 % (hexano), 18,4 % (etanol) e 11 % (etanol:água). Embora em termos quantitativos os rendimentos tenham diferido no que se refere ao qualitativo, o estudo com butiá apresentou o mesmo comportamento que os observados neste estudo, uma vez que o etanol e o hexano ofereceram os maiores rendimentos, respectivamente. Segundo esses autores, esse maior rendimento se deveu a influência da polaridade do solvente, sugerindo que essa matriz é composta por elementos de baixa polaridade. Os estudos de Santos *et al.* (2019) com sementes de feijoa, mostraram rendimentos globais de extração, em Soxhlet, superiores ao observado nas sementes de pitaya (etanol 39 %, água 39,7 % e etanol-água 47 %). Isso revelou um caráter mais polar dos compostos presentes, principalmente, compostos solúveis em solventes com índice de polaridade intermediário (etanol:água). Em sementes de melão (*Cucumis melo L. Inodorus*), Bouazzaoui *et al.* (2018) observaram que o rendimento de extração com hexano foi duas vezes maior do que com etanol. Além disso, o rendimento com hexano foi superior ao observado em fluido supercrítico com CO<sub>2</sub>, entretanto, os extratos não apresentaram diferenças no perfil e concentração dos ácidos graxos, indicando a extração por Soxhlet é capaz de oferecer extratos de boa qualidade.

Diferentes solventes empregados em métodos de extração resultam em diferentes índices de solubilidade (Tabela 3) e, portanto, espera-se que os extratos apresentem diferentes composições. Isso porque compostos de natureza diferente tendem a apresentar comportamento diferente em função do solvente empregado. Diferenças empíricas entre os extratos de semente de pitaya, por Soxhlet, puderam ser



avaliadas visualmente (Figura 19). Podemos observar que todos os extratos obtidos apresentaram diferenças na coloração quando comparados entre si, variando de uma coloração amarela clara para uma cor parda opaca. Isso sugere que as diferenças na coloração e na intensidade da cor, podem ser um indício de diferentes compostos presentes nesses extratos.

Figura 19 – Extratos de semente de pitaya orgânica *H. undatus* obtida por processo de extração por Soxhlet aplicando os solventes: água, etanol, etanol:água e hexano



Fonte: Própria autora (2022)

As sementes possuem fitoquímicos naturais, que atuam como substâncias antioxidantes, estando correlacionadas com os metabólitos secundários, tais como: flavonoides, carotenoides, alcaloides, taninos, tocoferois, fitoesteróis, ácidos fenólicos e outros (RODRIGUES et al., 2019). Neste estudo, a análise da composição química das diferentes frações obtidas, não foi determinada em função da pandemia. Contudo, outros autores, que avaliaram a composição de extratos de sementes de pitaya apontam a presença de compostos bioativos como flavonoides, ácidos fenólicos,  $\gamma$ -tocoferol,  $\alpha$ -tocoferol, campesterol, estigmasterol, colesterol e  $\beta$ -sitosterol, ácido gálico, ácido seringico, cafeína, ácido vanílico, p-cumárico, cumarinas. A presença de alguns desses compostos foram associadas à capacidade redutora destes extratos com efeito inibitório sobre radicais livres, alta atividade antioxidante e efeito inibitório em relação ao processo de oxidação lipídica (ADNAN; OSMAN; ABDUL HAMID, 2011; ARIFFIN et al., 2009; CHEMAH et al., 2010; LIM et al., 2010; SAENJUM, PATTANANANDECHA, NAKAGAWA, 2021; SUSHMITHA et al., 2018).

#### 4. CONSIDERAÇÕES

Em virtude da pandemia causada pela Covid-19, e a impossibilidade de seguir com os ensaios planejados para este capítulo, foram realizados estudos preliminares acerca da caracterização por microscopia e de ensaios de extração aplicados às sementes de pitaya *H. undatus*.

Sem dúvida, os protocolos histológicos aplicados às sementes para os ensaios de microscopia foram promissores, embora trabalhosos. Por meio deste estudo, que exigiu dedicação em função das diversas etapas de preparo, foi possível observar algumas características estruturais da sementes de pitaya, contribuindo de forma significativa com o conhecimento acerca dessa matriz vegetal. Foi possível observar como os lípideos estavam organizados e localizados no tecido vegetal dessas sementes, o que pode ser importante quanto a aplicação de tratamentos prévios nas sementes, com objetivo de facilitar os processos de extração desses compostos, que estão presentes em grande quantidade nessas sementes. Contudo, foi visto também como o uso das técnicas histológicas podem causar danos nas estruturas celulares e impossibilitar uma análise precisa, especialmente se o processo não for conduzido de forma adequada em relação à matriz estudada. Isso mostra que a realização desses estudos exige um conhecimento técnico-científico vasto e, que se faz necessário, a adaptação de protocolos às especificidades do tecido vegetal em estudo. Embora promissores, os ensaios não foram conclusivos. Isso porque os protocolos estudados ainda não foram capazes de oferecer cortes com espessuras adequadas e em quantidades suficientes para os ensaios de histoquímica. Assim, se faz necessária a continuidade desses estudos para a obtenção de cortes histológicos capazes de oferecer a organização e localização de uma variedade de compostos químicos de interesse nessas sementes, como compostos bioativos, fibras e proteínas, por exemplo.

Os estudos de extração com o uso de solventes com polaridades crescentes, por meio da técnica de Soxhlet, mostraram resultados importantes, especialmente em função do elevado rendimento obtido em todos os extratos. Estudos com sementes de pitaya já evidenciaram a presença de compostos bioativos de elevada importância nutricional e tecnológica, entres eles ácidos fenólicos, flavonoides e tocoferol, além de ácidos graxos essenciais. Contudo, não há estudos de extratos de sementes de pitaya obtidas por frutas cultivadas no Brasil, o que torna a análise química desses extratos de grande relevância científica. Embora esta tese tivesse o objetivo de realizar a caracterização química

desses compostos, não foi possível realizá-la em função da pandemia, sendo portanto, de grande importância para estudos futuros.

A crescente demanda por compostos bioativos em plantas, incentiva o desenvolvimento de novos métodos de extração, mais amigáveis ao meio ambiente e menos agressivos à degradação de compostos. Os ensaios de extração para esta tese tinham como foco a aplicação de técnicas menos nocivas ao ambiente, conhecidas como técnicas verdes. O uso de Soxhlet tinha a função comparativa com as demais técnicas, já que é uma técnica analítica padrão, que tem sido utilizada por outros pesquisadores para este fim. A aplicação de técnicas verdes de extração se faz importante, especialmente porque esta tese buscou valorizar um potencial resíduo alimentar, com o intuito de reduzir portanto, impactos ambientais futuros.

## REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, A. *et al.* Supercritical carbon dioxide extraction of red pitaya ( *Hylocereus polyrhizus*) seeds : response surface optimization , fatty acid composition and physicochemical properties. **Malaysian Society of Applied Biology**, v. 47, n. 2, p. 39–46, 2018.
- ADNAN, L.; OSMAN, A.; ABDUL HAMID, A. Antioxidant activity of different extracts of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) seed. **International Journal of Food Properties**, v. 14, n. 6, p. 1171–1181, 2011.
- ALVAREZ, M. V. *et al.* Valorization of an agroindustrial soybean residue by supercritical fluid extraction of phytochemical compounds. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 143, n. March 2018, p. 90–96, 2019.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemistry. **Official methods of analysis of official analytical chemistry international**, 18<sup>th</sup> ed. AOAC, Gaithersburg, MD, USA, 2005.
- ARAUJO, N. M. P. *et al.* Biocatalysis and Agricultural Biotechnology Enzymatic treatment improves the antioxidant and antiproliferative activities of *Adenanthera pavonina* L. seeds. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 18, n. November 2018, p. 101002, 2019.
- ARIFFIN, A. A. *et al.* Essential fatty acids of pitaya (dragon fruit) seed oil. **Food Chemistry**, v. 114, n. 2, p. 561–564, 2009.
- ARRUDA, H. S. *et al.* Anthocyanins recovered from agri-food by-products using innovative processes: Trends, challenges, and perspectives for their application in food systems. **Molecules**, v. 26, n. 9, 2021.
- AZMIR, J. *et al.* Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n. 4, p. 426–436, 2013.
- BANERJEE, J. *et al.* Bioactives from fruit processing wastes : Green approaches to valuable chemicals. **Food Chemistry**, v. 225, p. 10–22, 2017.
- BENÍTEZ, R. O. **Perdas e desperdícios de alimentos na América Latina e no Caribe**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.fao.org/americas/noticias/ver/pt/c/239394/>>.
- BENITO-ROMÁN, O. *et al.* Supercritical carbon dioxide extraction of quinoa oil: Study of the influence of process parameters on the extraction yield and oil quality. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 139, n. March, p. 62–71, 2018.
- BERNHOF, A. A brief review on bioactive compounds in plants. In: **Bioactive compounds in plants – benefits and risks for man and animals Proceedings from a symposium held at**. 1. ed. Oslo: 2010. p. 11–17.
- BEWLEY, J. D. *et al.* **Seeds physiology of development, germination and**

**dormancy**. 3rd. ed. New York: Springer, 2013.

BOUAZZAOUI, N. *et al.* Fatty acid composition, cytotoxicity and anti-inflammatory evaluation of melon (*Cucumis melo* L. *Inodorus*) seed oil extracted by supercritical carbon dioxide. **Separation Science and Technology (Philadelphia)**, v. 53, n. 16, p. 2622–2627, 2018.

BURRIEZA, H. P. *et al.* Death of embryos from 2300-year-old quinoa seeds found in an archaeological site. **Plant Science**, v. 253, p. 107–117, 2016.

CAPUTO, L. F. G.; GITIRANA, L. DE B.; MANSO, P. P. DE A. Técnicas Histológicas. In: ETÉLCIA, M.; CAPUTO, L. F. G.; MOLINARO, M. R. E. (Eds.). **Conceitos e Métodos para Formação de Profissionais em Laboratórios de Saúde Volume 2**. 1. ed. Rio de Janeiro: EPSJV/IOC, 2010. p. 89–188.

CHEMAH, T. C. *et al.* Determination of pitaya seeds as a natural antioxidant and source of essential fatty acids. **International Food Research Journal**, v. 17, n. 4, p. 1003–1010, 2010.

CHOUAIBI, M. *et al.* Chemical characteristics and compositions of red pepper seed oils extracted by different methods. **Industrial Crops and Products**, v. 128, n. July 2018, p. 363–370, 2019.

CISNEROS, A.; GARCIA, R. B.; TEL-ZUR, N. Ovule morphology, embryogenesis and seed development in three *Hylocereus* species (Cactaceae). **Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 206, n. 12, p. 1076–1084, 2011.

CORTE, V. B. *et al.* Histochemical aspects of reserves mobilization of *Caesalpinia peltophoroides* (Leguminosae) seeds during germination and seedlings early growth. **Revista Arvore**, v. 32, n. 4, p. 641–650, 2008.

CRUZ, P. N. *et al.* Antioxidant and antibacterial potential of butia (*Butia catarinensis*) seed extracts obtained by supercritical fluid extraction. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 119, p. 229–237, 2017.

CRUZ, P. N. *et al.* Antioxidant activity and fatty acid profile of yacon leaves extracts obtained by supercritical CO<sub>2</sub> + ethanol solvent. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 146, n. January, p. 55–64, 2019.

DE AGUIAR, A. C. *et al.* Supercritical carbon dioxide extraction of *Capsicum* peppers: Global yield and capsaicinoid content. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 81, p. 210–216, 2013.

DE OLIVEIRA, A. B. *et al.* Morfoanatomia e histoquímica da semente de sororoca (*Phenakospermum guyanense* (Rich.) Endl. - Strelitziaceae). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 2, p. 280–287, 2012.

DIAS, J. L. *et al.* Extraction of umbu (*Spondias tuberosa*) seed oil using CO<sub>2</sub>, ultrasound and conventional methods: Evaluations of composition profiles and

- antioxidant activities. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 145, n. September 2018, p. 10–18, 2019.
- DÖKER, O. *et al.* Extraction of sesame seed oil using supercritical CO<sub>2</sub> and mathematical modeling. **Journal of Food Engineering**, v. 97, n. 3, p. 360–366, 2010.
- FERRENTINO, G. *et al.* Functional Activity of Oils from Brewer's Spent Grain Extracted by Supercritical Carbon Dioxide. **Food and Bioprocess Technology**, p. 789–798, 2019.
- FERRO, D. M. *et al.* Integrated extraction approach to increase the recovery of antioxidant compounds from *Sida rhombifolia* leaves. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 149, p. 10–19, 2019.
- GALASTRI, N. A.; OLIVEIRA, D. M. T. DE. Morfoanatomia e ontogênese do fruto e semente de *Vernonia platensis* (Spreng.) Less. (Asteraceae). **Acta Botanica Brasilica**, v. 24, n. 1, p. 73–83, 2010.
- GOMIDE, R. **Operações com sistemas sólidos granulares**. São Paulo: R. Gomide, 1980.
- HAYAT, Zafar ; AKRAM, Kashif; MAHMUD, Athar; FAROOQ, Umar; FARID, Muhammad Umar; SHAFI, Afshan. In: SULERIA, Hafiz Ansar Rasul; BARROW, Colin (1 ed.). **Bioactive compounds from plant origin: extraction, applications, and potential health benefits**. Canada: Apple Academic Press Inc, 2020. Cap. 4. p. 87-124. (Innovations in plant science for better health.).
- KANWAL, K. *et al.* Implication of scanning electron microscopy and light microscopy for oil content determination and seed morphology of Verbenaceae. **Microscopy Research and Technique**, v. 85, n. 2, p. 789–798, 2022.
- KHAN, Muhammad Kamran; CHEMAT, Farid; SATTAR, Saira; IMRAN, Muhammad. Extraction of bioactive molecules: conventional versus novel methods. In: SULERIA, Hafiz Ansar Rasul; BARROW, Colin (1 ed.). **Bioactive compounds from plant origin: extraction, applications, and potential health benefits**. Canada: Apple Academic Press Inc, 2020. Cap. 1. p. 4-44. (Innovations in plant science for better health.)
- KUMAR, K. *et al.* Food waste: a potential bioresource for extraction of nutraceuticals and bioactive compounds. **Bioresources and Bioprocessing**, v. 4, n. 1, 2017.
- LASTA, H. F. B. *et al.* Supercritical CO<sub>2</sub> to recover extracts enriched in antioxidant compounds from beetroot aerial parts. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 19, n. March, p. 101169, 2019.
- LEITÃO, C. A. E. A procedure for correcting the position of plant tissue samples in accidentally polymerized glycol methacrylate resin. **Hoehnea**, v. 46, n. 1, p. 1–5, 2019.
- LIM, H. K. *et al.* Chemical composition and DSC thermal properties of two species of

- Hylocereus cacti seed oil: *Hylocereus undatus* and *Hylocereus polyrhizus*. **Food Chemistry**, v. 119, n. 4, p. 1326–1331, 2010.
- LIMA, M. DE A. *et al.* Supercritical Fluid Extraction of Carotenoids from Vegetable Waste Matrices. **Molecules**, v. 24, n. 3, p. 466, 2019.
- LÓPEZ-BASCÓN, M. A.; LUQUE DE CASTRO, M. D. Soxhlet Extraction (cap. 11). In: POOLE, Colin F. **Handbooks in Separation Science: liquid-phase extraction**. United States: Elsevier Science Ltd, 2019, p. 327-354. (Series editor).
- LUQUE DE CASTRO, M. D.; PRIEGO-CAPOTE, F. Soxhlet extraction: Past and present panacea. **Journal of Chromatography A**, v. 1217, n. 16, p. 2383–2389, 2010.
- MAKSIMOVIC, S.; IVANOVIC, J.; SKALA, D. Supercritical extraction of essential oil from *Mentha* and mathematical modelling- the influence of plant particle size. **Procedia Engineering**, v. 42, n. August, p. 1767–1777, 2012.
- MARTINS, C. R.; LOPES, W. A.; ANDRADE, J. B. Solubilidade das substâncias orgânicas. **Quimica Nova**, v. 36, n. 8, p. 1248–1255, 2013.
- NIZAMLIOĞLU, N. M.; ÜNVER, A.; KADAKAL, Ç. Mineral Content of Pitaya (*Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus*) Seeds Grown in Turkey. **Erwerbs-Obstbau**, v. 63, n. 2, p. 209–213, 2021.
- NUNES, C. DE S.; CINSA, L. A. Princípios do processamento Histológico de Rotina. **Revista Interdisciplinar de Estudos Experimentais**, v. 8, p. 31–40, 2016.
- PAUTOVA, A. *et al.* Large lipid droplets in leaf epidermis of angiosperms. **Flora**, v. 219, p. 62–67, 2016.
- PEREA-FLORES, M. J. *et al.* Microscopy techniques and image analysis for evaluation of some chemical and physical properties and morphological features for seeds of the castor oil plant (*Ricinus communis*). **Industrial Crops and Products**, v. 34, n. 1, p. 1057–1065, 2011.
- PESKE, S. T.; FILHO, O. A. L.; BARROS, A. C. S. A. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 2. ed. Pelotas: Ed. Universitária/UFPel, 2006.
- POOLE, Colin F. Milestones in the development of liquid-phase extraction techniques (Cap. 1). In: **Handbooks in Separation Science: liquid-phase extraction**. United States: Elsevier Science Ltd, 2019, p. 1-45. (Series editor). POOLE, 2019 a.
- POOLE, Colin F. Solvent Selection for Liquid-Phase Extraction (Cap 2) In: **Handbooks in Separation Science: liquid-phase extraction**. United States: Elsevier Science Ltd, 2019, p. 46-89. (Series editor), POOLE, 2019 b.
- POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília/DF: Sília-DF, 1985.
- RIBEIRO, O. D. *et al.* Seed anatomy and histochemistry of *Myrciaria dubia* (Kunth)

McVaugh, an Amazonian Myrtaceae. **Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 280, n. November 2020, p. 151857, 2021.

RIBEIRO, R. C.; OLIVEIRA, D. M. T. Small and hard seeds: A practical and inexpensive method to improve embedding techniques for light microscopy. **Acta Botanica Brasilica**, v. 28, n. 4, p. 624–630, 2014.

RODRIGUES, L. G. G. *et al.* Recovery of bioactive phenolic compounds from papaya seeds agroindustrial residue using subcritical water extraction. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 22, n. September, p. 101367, 2019.

RUI, H. *et al.* Extraction and characteristics of seed kernel oil from white pitaya. **Journal of Food Engineering**, v. 93, n. 4, p. 482–486, 2009.

SAENJUM, C.; PATTANANANDECHA, T.; NAKAGAWA, K. Antioxidative and anti-inflammatory phytochemicals and related stable paramagnetic species in different parts of dragon fruit. **Molecules**, v. 26, n. 12, 2021.

SANTANA, F. C. *et al.* Effect of separation methods on the drying kinetics of organic pitaya ( *Hylocereus undatus* [ Haw .] Britton & Rose ) seed. **LWT**, v. 153, n. May 2021, p. 112353, 2022.

SANTOS, P. H. *et al.* Extraction of bioactive compounds from feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret) peel by low and high-pressure techniques. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 145, n. October 2018, p. 219–227, 2019.

SARKIS, J. R. *et al.* Application of pulsed electric fields and high voltage electrical discharges for oil extraction from sesame seeds. **Journal of Food Engineering**, v. 153, p. 20–27, 2015.

SENRAYAN, J.; VENKATACHALAM, S. Optimization of ultrasound-assisted solvent extraction (UASE) based on oil yield, antioxidant activity and evaluation of fatty acid composition and thermal stability of *Coriandrum sativum* L. seed oil. **Food Science and Biotechnology**, v. 28, n. 2, p. 377–386, 2019.

SHOKROLLAHI, F.; TAGHIZADEH, M. Date seed as a new source of dietary fiber: Physicochemical and baking properties. **International Food Research Journal**, v. 23, n. 6, p. 2419–2425, 2016.

SUÁREZ-ROMÁN, R. *et al.* Caracterización morfoanatómica y fisiológica de semilla sexual de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* (Haw.) Britt & Rose. **Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas**, v. 24, p. 97–111, 2012.

SUSHMITHA, H. S. *et al.* Phytochemical and pharmacological studies on *Hylocereus*. **World Journal of Pharmaceutical Research**, v. 7, n. 14, p. 986–1006, 2018.

TREYBAL, Robert E. **Operaciones de transferencia de masa**. 2 ed. México: McGRAW-HILL Book Company, 2007.



VAN DE VONDEL, J.; LAMBRECHT, M. A.; DELCOUR, J. A. Heat-induced denaturation and aggregation of protein in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds and whole meal. **Food Chemistry**, v. 372, n. September 2021, p. 131330, 2022.

VENTRELLA, M. C. *et al.* **Métodos Histoquímicos Aplicados às Sementes**. Viçosa: Série Conhecimento, 2014.

VERONA-RUIZ, A.; URCIA-CERNA, J.; PAUCAR-MENACHO, L. M. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Culture, physicochemical characteristics, nutritional composition, and bioactive compounds. **Scientia Agropecuaria**, v. 11, n. 3, p. 439–453, 2020.

VILLALOBOS-GUTIÉRREZ, M. G. *et al.* Chemical characterization of Central American pitaya (*Hylocereus* sp.) seeds and seed oil. **CYTA - Journal of Food**, v. 10, n. 1, p. 78–83, 2012.

VILLANUEVA-BERMEJO, D. *et al.* Production of omega 3-rich oils from underutilized chia seeds. Comparison between supercritical fluid and pressurized liquid extraction methods. **Food Research International**, v. 115, n. May 2018, p. 400–407, 2019.

ZABOT, G. L. *et al.* Influence of the bed geometry on the kinetics of the extraction of clove bud oil with supercritical CO<sub>2</sub>. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 93, p. 56–66, 2014.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As frutas de pitaya vêm ganhando mercado no comércio de frutas exóticas e, embora não se tenham disponíveis dados precisos sobre processamento, têm surgido, além de diversos produtos alimentares, produtos de beleza e higiene contendo esta fruta. Associado ao processamento da pitaya ocorre à geração de resíduos, onde uma parcela deles é constituída por sementes, cujo descarte deve ser evitado ou minimizado, de modo a reduzir seus impactos ambientais, com consequências sociais e econômicas que afetam a segurança alimentar. Uma alternativa consiste na utilização desses resíduos para produção de outros produtos de modo a fortalecer essa cadeia agroprodutiva, agregar valor e reduzir os impactos ambientais associados a seu descarte.

Os ensaios de separação semente-polpa evidenciaram o potencial da utilização de enzimas, que resultou em sementes com menor umidade, devido à hidrólise e remoção da mucilagem, promovendo a redução no tempo de secagem. Este é um aspecto tecnológico muito importante, uma vez que tempos menores de secagem, implicam em menores custos energéticos. Somado a isto, a aplicação de pectinases na separação semente-polpa pode evitar um gargalo no processamento industrial da pitaya, uma vez que essas sementes são de difícil separação da polpa e estas enzimas são comumente aplicadas na produção de sucos, facilitando o processo em escala industrial.

A avaliação das propriedades tecnológicas destacou a composição nutricional das sementes, especialmente o elevado teor de fibras alimentares, proteínas e lipídeos. Além disso, evidenciou um sistema hidrofílico, com elevada capacidade de retenção de água, o que pode ser uma característica importante para o desenvolvimento de produtos em que a separação de fases é indesejada uma vez que, também, apresentaram capacidade de retenção de óleo, mesmo que baixa quando comparada à de água. Cabe destacar que as sementes apresentaram estruturas semicristalinas, cujas temperaturas de degradação foram superiores às temperaturas usuais de processamento, evidenciando que essas sementes são um potencial ingrediente para a indústria de alimentos.

A microscopia se mostrou uma importante ferramenta para localizar componentes estruturais, bem como, identificar a organização e localização de substâncias químicas de interesse. Embora preliminar, o estudo é uma base relevante para otimizar a etapa de hidrólise enzimática, onde a aplicação de biotecnologia busca a obtenção de extratos contendo compostos de interesse dessa matriz vegetal e a escolha da enzima mais adequada passa pela compressão dessas estruturas.

Os estudos de extração se mostraram promissores quanto ao rendimento alcançado e quanto às frações obtidas por meio de solventes com distintas polaridades, indicando a potencial presença de diferentes compostos nos diferentes extratos.

O estudo realizado nesta tese foi inédito e relevante para ampliar o conhecimento científico sobre as sementes de pitaya, além de contribuir para sua valorização, com consequente fortalecimento desta cadeia agroprodutiva no estado de Santa Catarina. Entretanto, muito ainda deve ser realizado no âmbito da pesquisa científica, uma vez que essas sementes ainda são pouco exploradas pela comunidade científica.

Os estudos morfológicos podem ser ainda mais abrangentes, onde por meio dos ensaios histoquímicos podem ser identificados compostos químicos de interesse, tais como proteínas, ácidos graxos, carboidratos, compostos fenólicos e outros compostos bioativos presentes nessas sementes de modo a orientar os processos de extração dos mesmos. Sugere-se que, devido ao caráter sustentável, estudos de extração sejam conduzidos por meio de técnicas verdes, que têm se mostrado importante na obtenção de compostos bioativos de diversas sementes.

Estudos de caracterização química de sementes de pitaya catarinense ainda não são encontrados na literatura e, devido a sua composição, se tornam relevantes estudos que caracterizem o perfil de aminoácidos, perfil de ácidos graxos, compostos bioativos, bem como, quanto a suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas. Isso porque um estudo mais aprofundado pode contribuir no desenvolvimento de subprodutos de valor agregado e/ou aplicação como ingrediente no desenvolvimento de outros produtos. Contudo, sementes são matrizes alimentares que podem conter compostos antinutricionais, como taninos e fitatos, por exemplo. Estudos com este enfoque ainda não foram realizados para sementes de pitaya, sendo importante que projetos futuros possam fazer tal abordagem, especialmente para garantir o seu consumo de forma segura.

Além deste estudo buscar a valorização das sementes de pitaya, com foco na redução de futuros impactos ambientais relativos à geração de resíduos, também teve um enfoque social, por meio da valorização da produção familiar na cidade de Turvo, que convive ainda com as consequências da produção de tabaco. Contudo, muito ainda pode ser realizado para apoiar essas famílias produtoras. Além de projetos de caracterização para as frutas, são importantes projetos de pesquisa que ofereçam conhecimento técnico, especialmente quanto ao processamento e desenvolvimento de produtos com uma pegada de Economia Circular, para que estas famílias se desenvolvam economicamente.

## APÊNDICE

## APÊNDICE CAPÍTULO 1

### APÊNDICE A – PRODUÇÃO CIENTÍFICA E O ESTUDO DA ARTE DAS SEMENTES DE PITAYA ORGÂNICA (*Hylocereus undatus*) de 1945 a 2019

#### 1. INTRODUÇÃO

A pitaya, pitaiia ou pitahaya, também conhecida como *dragon fruit* (fruta-dragão) devido à presença de brácteas na casca que lembram escamas, é uma fruta exótica membro da família *Cactaceae*. É originária de regiões tropicais do México, América Central e do Sul, sendo amplamente cultivada em países asiáticos como a Malásia, Vietnã, Tailândia, Filipinas e Taiwan. No Brasil, São Paulo e Santa Catarina são os Estados de maior produção (MUHAMMAD *et al.*, 2014). Essa fruta vem ganhando o interesse dos consumidores devido as suas características organolépticas e propriedades bioativas (TENORE; NOVELLINO; BASILE, 2012). Dentre suas espécies, está a *Hylocereus undatus*, que se caracteriza por apresentar casca vermelha e polpa branca repleta de pequenas sementes pretas (MERCADO-SILVA, 2018).

O crescente interesse dos consumidores pela pitaya tem feito com que essa fruta ocupe um nicho de mercado de frutas exóticas e ganhe espaço em pequenas e médias propriedades como alternativa econômica devido ao seu alto valor agregado (ORTIZ *et al.*, 2018). Esse aumento na produção, por sua vez, tem promovido o desenvolvimento de novos produtos, especialmente a partir da polpa da fruta, com destaque para as bebidas como sucos, *smoothies*, chás e cervejas, bem como, sorvetes, geleias e outros doces. Alguns já podem ser encontrados nas gôndolas do supermercado.

O aumento do processamento de polpas de fruta resulta em um aumento da geração e acúmulo de resíduos de cascas e sementes, principalmente (MUHAMMAD *et al.*, 2014). De acordo com Kowalska *et al.* (2017) há uma estimativa da geração de milhões de toneladas/ano de resíduos de frutas e vegetais com potencial utilização, especialmente de cascas/peles, sementes, caules e polpa não utilizadas durante diferentes etapas do processamento. Esses resíduos, em um passado recente, eram abordados como um problema ambiental e hoje constituem materiais de interesse na formulação de produtos e ingredientes, especialmente, por possuírem componentes que apresentam propriedades bioativas (MUHAMMAD *et al.*, 2014; TENORE; NOVELLINO; BASILE, 2012). Diversos estudos vêm reportando que esses

resíduos podem ser considerados importantes matrizes para a extração e produção de ingredientes de alto valor agregado (KOWALSKA *et al.*, 2017). Estudos com sementes vêm indicando suas potencialidades para a indústria, como por exemplo: as sementes de maçã que contêm compostos fenólicos como flavonoides, ácido clorogênico, floridzina e ácido cafeico, além de elevada concentração de minerais, proteínas e lipídeos, principalmente ácidos oleico e linoleico, sendo alguns desses compostos com potencial antioxidante (RABETAFIKA *et al.*, 2014; WALIA *et al.*, 2014). Os óleos das sementes de uva, goiaba, melão, maracujá, abóbora, graviola e tomate possuem predominantemente ácidos graxos insaturados com alto teor de ácido linoleico, possuindo também quantidades significativas de vitamina E, fitoesteróis e compostos fenólicos (DA SILVA; JORGE, 2014).

Considerando-se que a semente de pitaya é um resíduo na indústria de alimentos, com potencial aplicação como produto de alto valor agregado, o objetivo desse trabalho foi realizar uma prospecção científica através do levantamento em bases de dados bibliométricas sobre a produção científica de forma global e especificamente acerca das sementes de pitaya da espécie *Hylocerus undatus* (*H. undatus*). Ambas para auxiliar na delimitação do tema de estudo para a tese de doutorado.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS

A produção científica global foi avaliada utilizando o banco estatístico *SCImago Journal Rank* (SJR), um indicador bibliométrico que avalia a influência de um determinado periódico através da média do número de citações recebidas nos últimos 3 anos que antecedem ao ano analisado. Este indicador mostra a visibilidade das revistas contidas na base de dados *Scopus*. A pesquisa foi conduzida através do último ranking disponível (2017), que apresenta os resultados com base nos anos de 2013-2016 (SJR, 2018).

Para compreender a participação das universidades na produção científica, foi realizado um levantamento no banco de dados *CWTS Leiden Ranking*, utilizando o Ranking 2018 que engloba o período de 2013-2016. O CWTS ou *Centre for Science and Technology Studies* (em tradução livre: Centro de Estudos em Ciências e Tecnologia) da Universidade de Leiden (Holanda), oferece indicadores bibliométricos baseados exclusivamente em dados da *Web of Science* (artigo original e revisão), oferecendo informações importantes sobre o desempenho científico de cerca de 1.000 grandes universidades do mundo (CWTS, 2018). A análise foi realizada em duas etapas: primeiramente de forma mais ampla, utilizando os descritores: *All sciences*, *World* e *Min. publication output* (= 100) e, posteriormente, uma pesquisa refinada substituindo os descritores *All sciences* por *Life and Earth Science* e *World* por *Brazil* mantendo *Min. publication output* (= 100) (CWTS, 2018).

### 2.2 REVISÃO CIENTÍFICA

A revisão científica foi realizada por meio do levantamento da ocorrência de publicações sobre semente de pitaya (*Hylocereus undatus*) no período compreendido entre 1945 e 2019 nas bases de dados: *Web of Science* (WOS) e *Scopus*, que foram selecionadas em função do número expressivo de periódicos indexados nas mesmas (SCOPUS, 2018; WOS, 2018). Também foram conduzidas buscas em bases de dados de teses e dissertações, utilizando as bases: Catálogo de Teses e Dissertações CAPES; Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e Repositório da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) (BDTD, 2018; CAPES, 2018; UFSC, 2018).

A busca foi realizada em novembro de 2018. Na pesquisa foram incluídos: título, resumo e palavras-chave utilizando descritores, operadores booleanos (OR e AND), operador curinga (asterisco - \*) e alguns descritores aplicados entre aspas (“...”), conforme mostra o

Quadro 1. Para a pesquisa nos bancos de dados nacionais, algumas palavras foram traduzidas para a língua portuguesa e a busca limitou-se a primeira parte do Quadro 1 (grifado em cinza claro).

Como comparativo às publicações sobre semente de pitaya, foi realizado uma pesquisa com matrizes alimentares, tais como, sementes de frutas tradicionais (maracujá, goiaba e mamão); sementes de frutas exóticas (jaboticaba, mangaba e araçá) e sementes pequenas (chia, linhaça e gergelim). A pesquisa foi realizada no banco de dados científico *Scopus* e os descritores contaram com o nome e a espécie da fruta, juntamente com o descritor *seed* (Quadro 2).

Para a análise dos dados, estes foram agrupados e analisados com auxílio do software Excel 2007 e os gráficos foram gerados em software Origin 8.5



Quadro 1 – Descritores e estratégia de busca para a prospecção científica sobre a semente de pitaya (*Hylocereus undatus*)

DESCRITORES									RESPOSTAS	
Pitaya	Pitaia	Pitahaya	“Dragon fruit”	“Hylocereus undatus”	Seed	Organic	"Drying kinetics"	"Functional properties"	<i>Web of Scienc</i>	<i>Scopus</i>
OR	OR	OR	OR	OR					465	617
OR	OR	OR	OR	OR	AND				57	69
OR	OR	OR	OR	OR	AND	AND			0	0
OR	OR	OR	OR	OR	AND		AND		0	0
OR	OR	OR	OR	OR	AND			AND	0	0
				AND	AND				21	28
				AND	AND	AND			0	0
				AND	AND		AND		0	0
				AND	AND			AND	0	0

Descritores								Respostas		
pitaya	pitaia	pitahaya	"hylocereus undatus "	semente	organic*	"cinética de secagem"	"Functional properties"	<b>CAPES</b>	<b>BDTD</b>	<b>Repositório UFSC</b>
OR	OR	OR	OR					<b>68</b>	<b>26</b>	<b>0</b>
OR	OR	OR	OR	AND				<b>2</b>	<b>6</b>	—
OR	OR	OR	OR	AND	AND			<b>0</b>	<b>0</b>	—
OR	OR	OR	OR	AND		AND		<b>0</b>	<b>0</b>	—
OR	OR	OR	OR	AND			AND	<b>0</b>	<b>0</b>	—

Fonte: Elaborado pela autora (2018)

Quadro 2 – Descritores e estratégia de busca para prospecção científica sobre sementes de maracujá, goiaba, mamão, jaboticaba, mangaba, araçá, chia, linhaça e gergelim na base de dados *Scopus*

Descritores - Sementes de frutas comuns								Resposta
	"Passion fruit"	"Passiflora"	Guava	"Psidium guajava"	Papaya	"Carica papaya"	Seed	<i>Scopus</i>
Maracujá	OR	OR					AND	<b>353</b>
Goiaba			OR	OR			AND	<b>295</b>
Mamão					OR	OR	AND	<b>506</b>

Descritores - Sementes de frutas exóticas								Resposta
	Jaboticaba	"Myrciaria jaboricaba"	Mangaba	"Hancornia speciosa"	Araça	"Psidium cattleyanum sabine"	Seed	<i>Scopus</i>
jaboticaba	OR	OR					AND	<b>14</b>
Mangaba			OR	OR			AND	<b>39</b>
Araça					OR	OR	AND	<b>16</b>

Descritores - Sementes pequenas								Resposta
	"Chia seed"	"Salvia hispanica"	Flaxseed	"Flax seed"	"Sesame seed"	"Sesamum indicum"	Seed	<i>Scopus</i>
Chia	OR	OR					AND	<b>390</b>
Linhaça			OR	OR			AND	<b>2.941</b>
Gergelim					OR	OR	AND	<b>4.711</b>

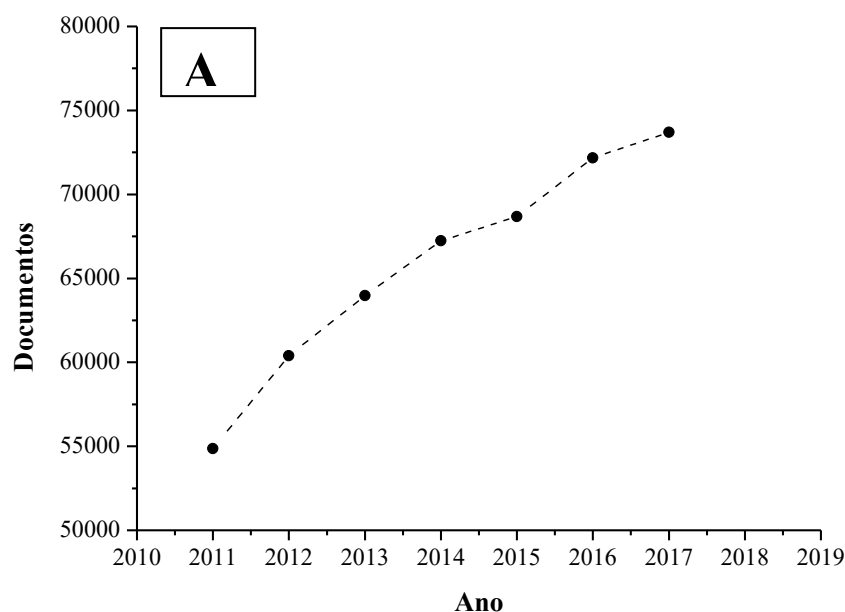
Fonte: Elaborado pela autora (2018)

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

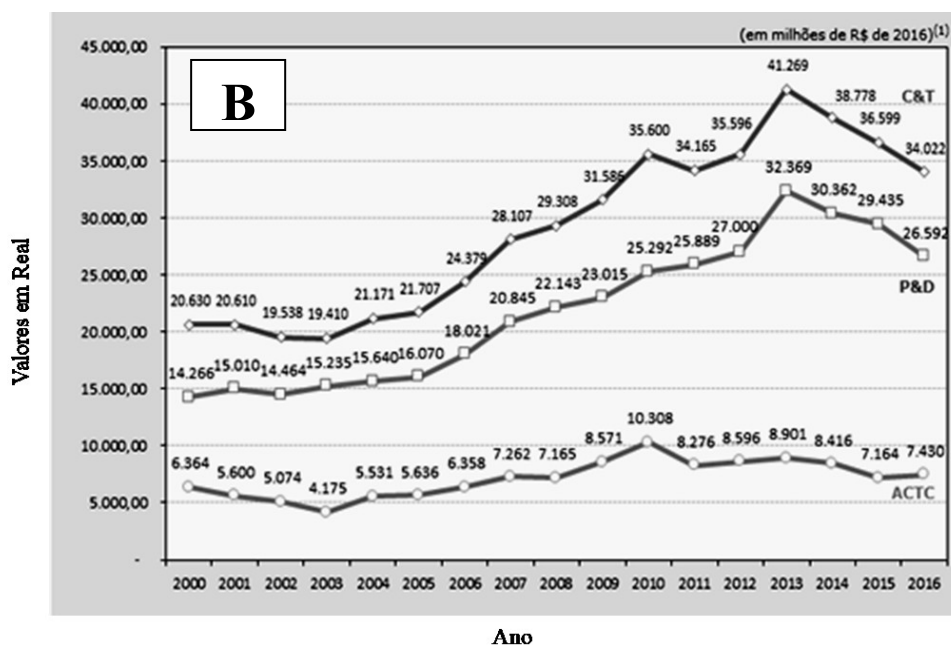
#### 3.1 PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS

De acordo com os dados da *SCImago*, ranking 2017, os Estados Unidos e a China são os países com maior número de publicações científicas, com 626.403 e 508.654 respectivamente. O Brasil ocupa a 14<sup>o</sup> posição, com 73.697 publicações. Embora o Brasil tenha perdido uma posição em relação ao ranking de 2015, onde até então ocupava a 13<sup>a</sup> posição, as publicações vêm aumentando sucessivamente, com um incremento de 25 % desde o ranking 2011 (Figura 1-A). Esse incremento nas publicações científicas no Brasil pode ser um resultado dos investimentos governamentais em ciência e tecnologia, especialmente crescente no período que compreende 2004 a 2013, conforme mostra a estatística do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações apresentada na Figura 1-B.

Figura 1 – Números de publicações do Brasil de acordo com o ranking *SCImago* de 2011 a 2017 (A) e dispêndio do Brasil em ciência e tecnologia (C&T), atividade de 2000 a 2016 (B)



Fonte: Elaborado pela autora por meio da SJR (2018)



Fonte: Brasil (2018)

As publicações na área *Agricultural and Biological Sciences* (Ciências Agrárias e Biológicas), levam o Brasil para a 3<sup>a</sup> colocação mundial no ranking 2017, sendo responsável por 14.440 publicações, ficando atrás apenas dos Estados Unidos e China, primeiro e segundo, respectivamente. Contudo, o Brasil é o país com maior número de publicações nessa área na América Latina, ficando à frente de países como México, Argentina e Chile. Isso indica que o Brasil é um dos países que mais se dedica a produção de conhecimento nessa área. Vale ressaltar que o setor agrícola no Brasil é um dos setores da economia que tem grande importância no mercado, tendo relevante participação no Produto Interno Bruto (PIB) do país. Além disso, o Brasil é um grande exportador de cereais, grãos e frutas, sendo em 2017 o terceiro maior produtor de frutas no mundo, ficando atrás apenas da China e Índia (FAOSTAT, 2018). A pesquisa, ciência, tecnologia, trabalho no campo e transporte estão envolvidos nessa grande cadeia produtiva, desta forma, o investimento em pesquisa, auxilia na criação de novas tecnologias, impactando na produção.

Com relação às universidades, o ranking de 2018 da CWTS avaliou 938 universidades de diversos países, dentre as quais 21 são brasileiras (CWTS, 2018).

De acordo com o ranking para o campo *All sciences* (todas as ciências), dentre as 50 primeiras universidades colocadas, 68 % estão sediadas nos Estados Unidos (20) e na China (14), sendo que estas também ocuparam 70 % das 10 primeiras posições. Isso

corroborar com as estatísticas apresentadas pela *SCimago* e indica que as universidades têm grande participação na produção científica desses países.

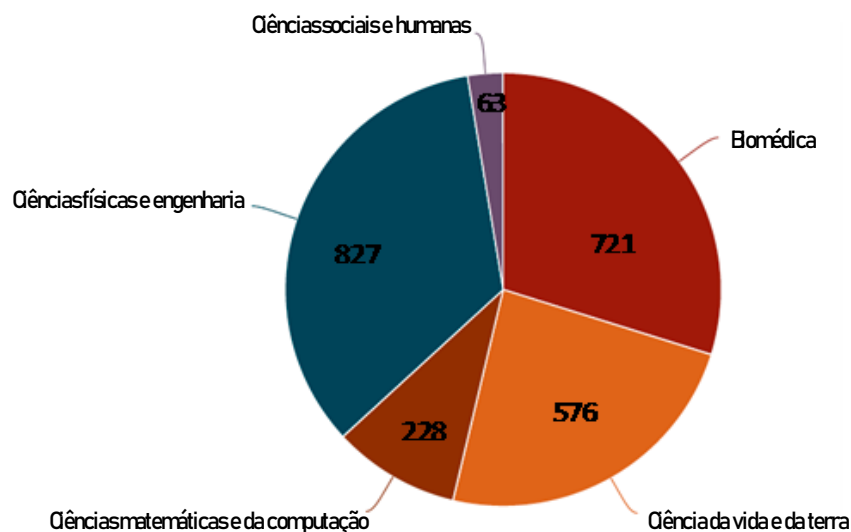
A Universidade de Harvard ocupou a primeira posição, sendo responsável por 33.045 publicações nesse período, sendo que destas, 21 % (7.305) estão entre os 10 % dos artigos mais citados com maior frequência. Todavia, a Universidade Rockefeller que ocupou a penúltima posição do ranking (937), teve a maior porcentagem entre todas as universidades, dos artigos entre os 10 % mais citados com maior frequência (31,5 %), tendo como destaque o campo de conhecimento *Biomedical and Health Sciences* (Ciências Biomédicas e da Saúde) (CWTS, 2018).

Entre as universidades brasileiras, a Universidade de São Paulo (USP) ocupou a 8ª posição, responsável por 16.120 publicações. Entretanto, apenas 5,9 % (955) das publicações estão entre os 10 % dos artigos mais citados. Já a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), com 2.416 publicações, ocupa a posição de 486, ficando atrás de universidades como: Univ. Estadual Paulista (5.817), Univ. Campinas (5.336), Univ. Federal do Rio Grande do Sul (5.040), Univ. Federal do Rio de Janeiro (4.631), Univ. Federal de Minas Gerais (3.864) e Univ. Federal de São Paulo (3.047) (CWTS, 2018). Contudo, a UFSC apresenta 6,8 % (174) dos artigos entre os 10 % mais citados com maior frequência, sendo a universidade brasileira com melhor desempenho de acordo com esse indicador (CWTS, 2018).

O Brasil foi destaque em relação ao campo de conhecimento *Life and Earth Sciences* (Ciências da terra e da vida), ocupando primeira colocação geral, sendo a USP a universidade com o maior número de publicações (3.481). Esse campo de conhecimento inclui a área de conhecimento de Ciências Agrárias, que por sua vez, contém as subáreas Agronomia e Ciência e Tecnologia de Alimentos, indicando que o Brasil tem grande destaque na produção desse tipo de conhecimento (CWTS, 2018) e que as universidades brasileiras têm uma grande participação na publicação científica no país.

Dentre as universidades brasileiras para o campo de conhecimento *Life and Earth Sciences*, a UFSC ganha destaque ocupando a nona posição em número de publicações. Conforme apresentado na Figura 2, a UFSC foi responsável por 576 publicações nesse campo de conhecimento no período entre 2013 e 2016, representando quase 24 % do total de publicações.

Figura 2 – Número de publicações científicas da UFSC no período de 2013 a 2016, separadas de acordo com o campo de conhecimento.

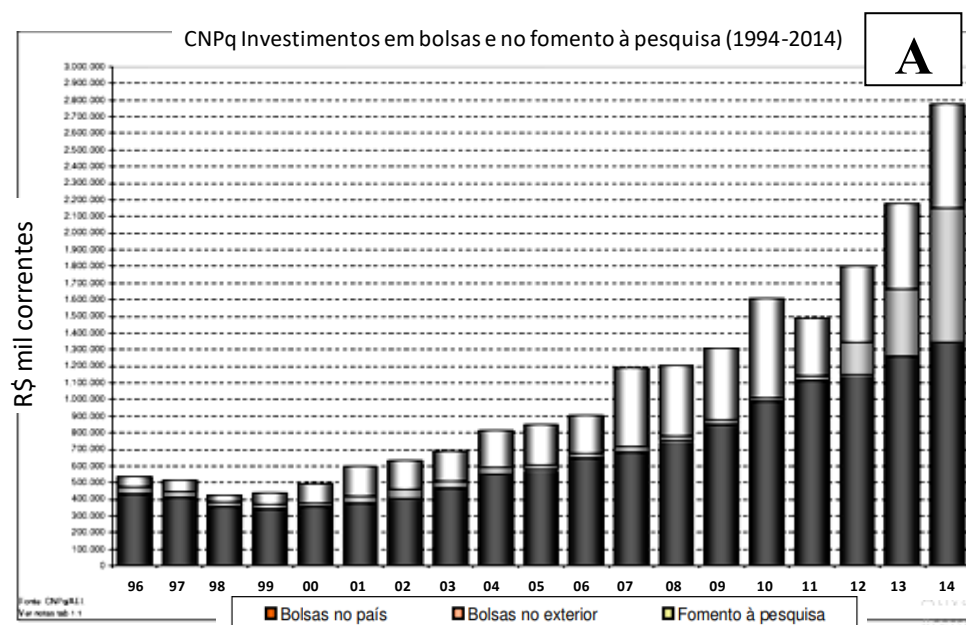


Fonte: Modificado de CWTS, 2018

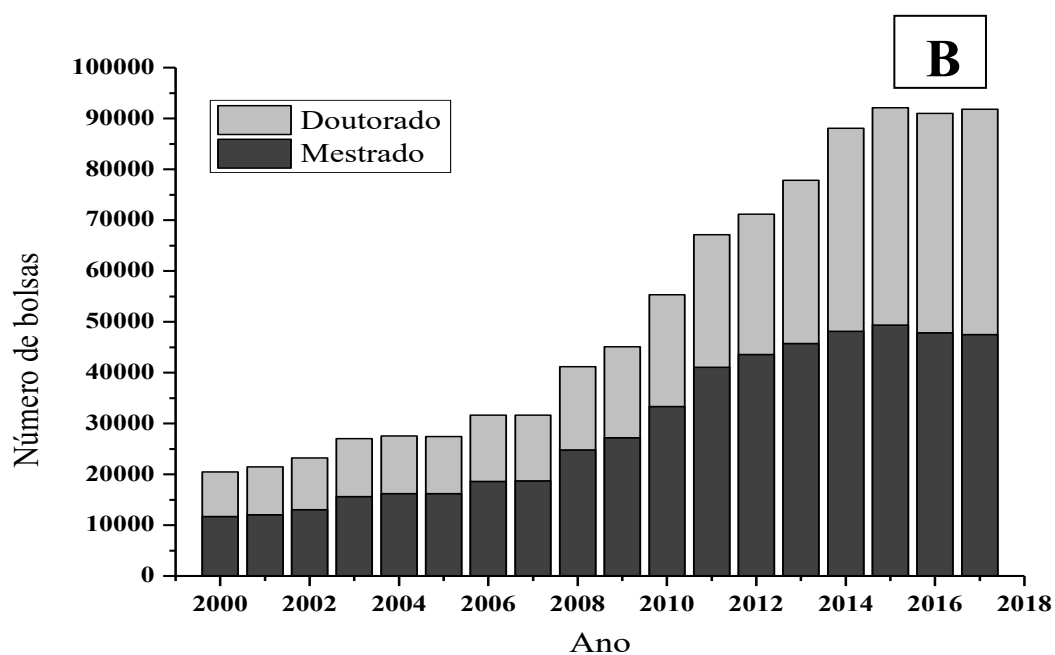
Todavia, observa-se que os campos de destaque das publicações da UFSC foram *Physical Sciences and Engineering* (Ciências Físicas e Engenharia) seguida por *Biomedical and Health Sciences* (Ciências Biomédicas e da Saúde) com 827 e 721 publicações, respectivamente, estando o campo *Life and Earth Sciences* em 3º lugar (CWTS, 2018).

A importante participação das universidades brasileiras na produção científica pode estar associada, entre outros, ao investimento em bolsas de pesquisa de mestrado e doutorado e fomento à pesquisa, realizados por órgãos de fomento governamentais. De acordo com estatísticas do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) Figura 3 (A e B), houve um crescente investimento nas bolsas de pesquisa para nível superior, especialmente no período de 2004 a 2014.

Figura 3 – Fomento à pesquisa e bolsas de mestrado e doutorado pela CNPq (A) e CAPES (B)



Fonte: CNPq (2018)



Fonte: Modificado de GEOCAPES (2018)

Esses investimentos podem ser um dos fatores que causou impacto no aumento nas publicações científicas, conforme visto anteriormente através das estatísticas da *SCimago*.

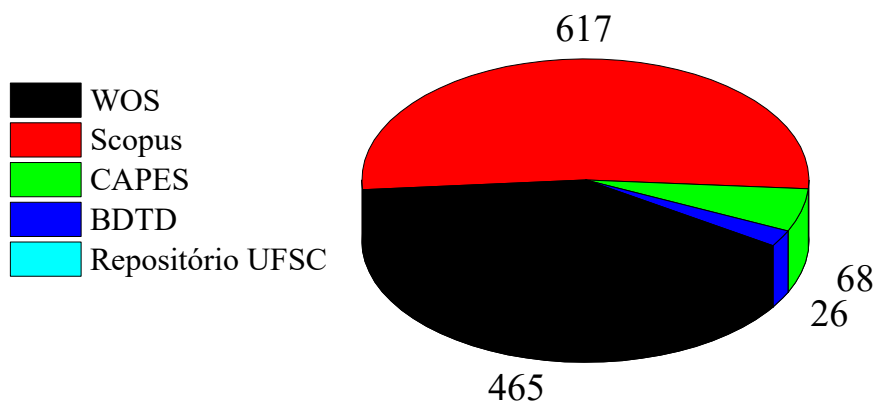
## 3.2 REVISÃO CIENTÍFICA

### 3.2.1 Pitaya - Busca ampla

Os resultados da busca inicial, utilizando uma abordagem mais ampla sobre as publicações inerentes à pitaya, utilizando as palavras-chave: pitaya, pitaia, pitahaya, “*dragon fruit*” e “*hylocereus undatus*” que será indicada como [pitaya (...)], totalizaram 1.176 estudos (Figura 4). Entretanto, muitos desses trabalhos se repetem entre as bases de dados, fazendo com que esse número seja menor.

Entre as bases de dados, a *Scopus* teve destaque, apresentando um total de 671 artigos, enquanto no repositório da UFSC não foi encontrada nenhuma tese ou dissertação sobre esse tema. Isso sugere que os programas de pós-graduação da UFSC ainda não possuem grupos de pesquisa produzindo conhecimento sobre essa fruta.

Figura 4 – Número de artigos científicos sobre pitaya (1945-2019) encontrados nas bases de dados WOS e *Scopus*, e trabalhos presentes nas Bases de dados de teses e dissertações da CAPES, BDTD e Repositório da UFSC.



Fonte: Elaborado pela autora a partir de WOS (2018); SJR (2018); CAPES (2018); BDTA (2018) e UFSC (2018)

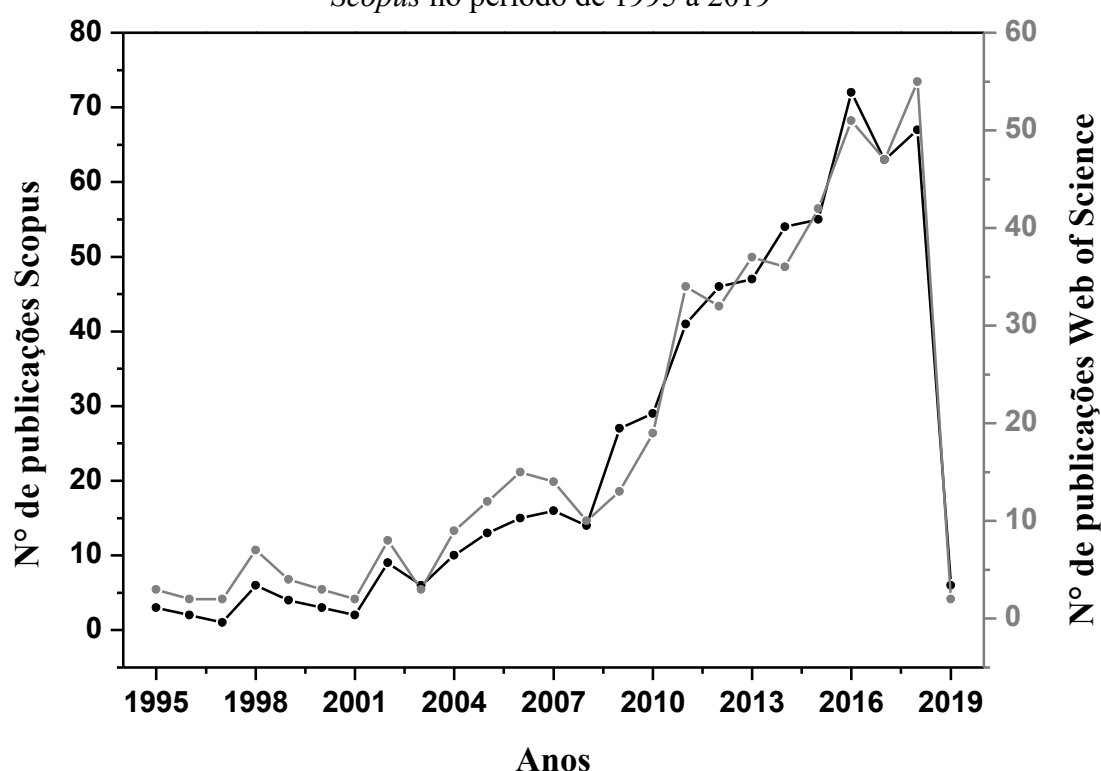
Observa-se um crescente interesse sobre o tema pitaya. Essa tendência pode ser observada pelo aumento no número de publicações ao longo dos 10 últimos anos (Figura 5), de acordo com WOS e *Scopus*. O maior número de publicações é observado nos anos 2016 (57 – WOS e 72 – *Scopus*) e 2018 (55 – WOS e 67 – *Scopus*), indicando que o maior interesse pelo tema é ainda muito recente.

Esse crescente interesse nas publicações sobre pitaya pode estar associado aos componentes dessa fruta e aos benefícios a saúde já relatados por alguns estudos, tais como: agente inibidor do crescimento de células de melanoma (WU *et al.*, 2006),



potencial nutracêutico e atividade antioxidante (ADNAN; OSMAN; ABDUL HAMID, 2011; TENORE; NOVELLINO; BASILE, 2012), propriedades prebióticas (WICHENCHOT; JATUPORNPIPAT; RASTALL, 2010), fonte de ácidos graxos essenciais (ARIFFIN *et al.*, 2009), fonte natural de betalaína (MELLO *et al.*, 2015; PRIATNI; PRADITA, 2015; STINTZING; SCHIEBER; CARLE, 2002), pectinas (JAMILAH *et al.*, 2011; MUHAMMAD *et al.*, 2014) e enzimas (AMID; MANAP, 2014).

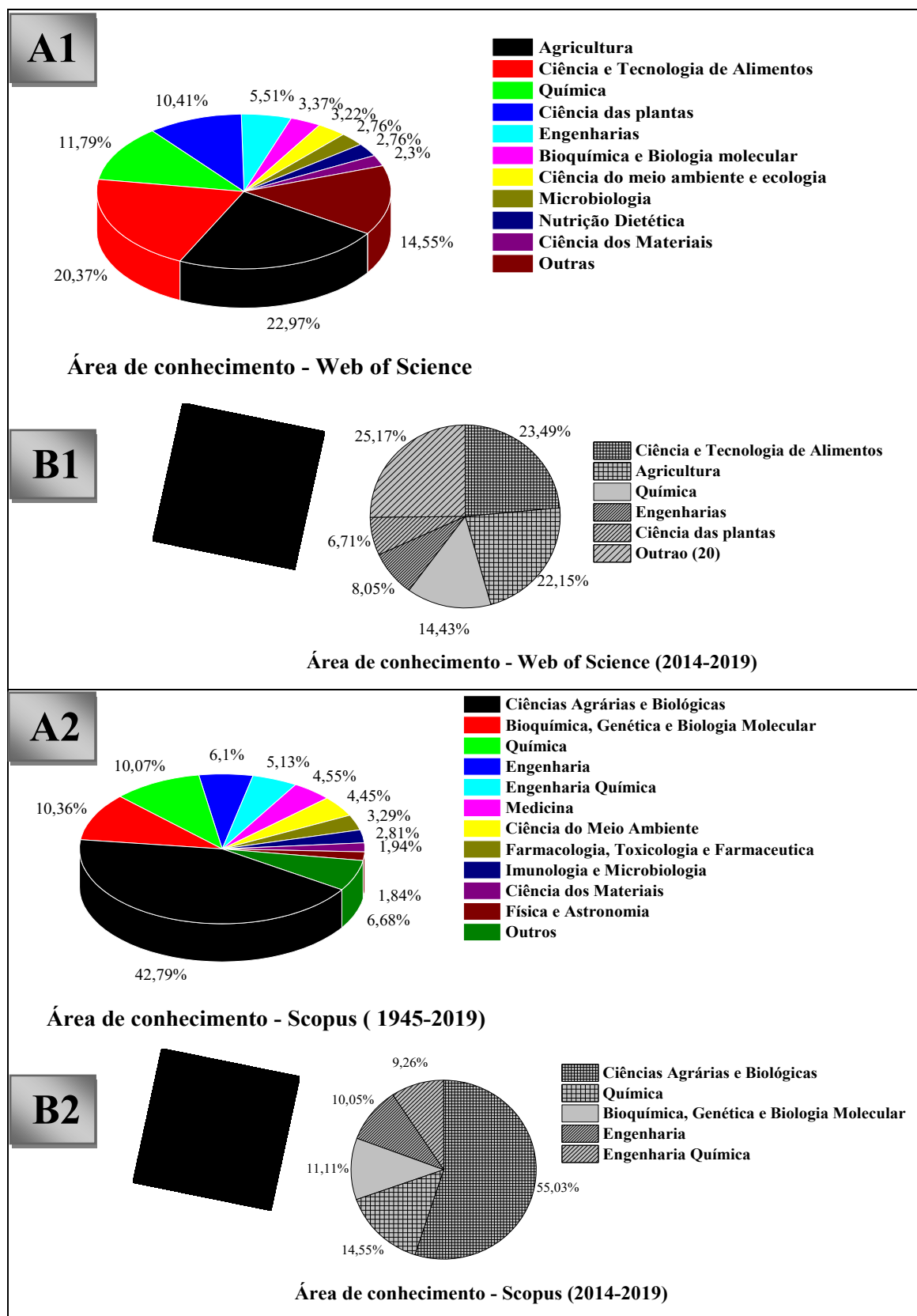
Figura 5 – Artigos publicados sobre pitaya disponíveis nos bancos de dados WOS e *Scopus* no período de 1995 a 2019



Fonte: Elaborado pela autora a partir de WOS (2018) e SJR (2018)

Observou-se ainda que a maior produção de conhecimento sobre o tema pitaya está fortemente ligada às áreas de conhecimento Agricultura e Ciência e Tecnologia de Alimentos (WOS) e Ciências Agrárias e Biológicas (*Scopus*) (Figura 6 - A1 e A2). Química, Bioquímica, Engenharias e Ciências das Plantas também apresentam forte participação na publicação de artigos sobre pitaya.

Figura 6 - Áreas de conhecimento com o maior número de publicações sobre pitaya de acordo com WOS e *Scopus* nos períodos de 1945 a 2019 (A1, A2) e dos últimos 5 anos (B1, B2)



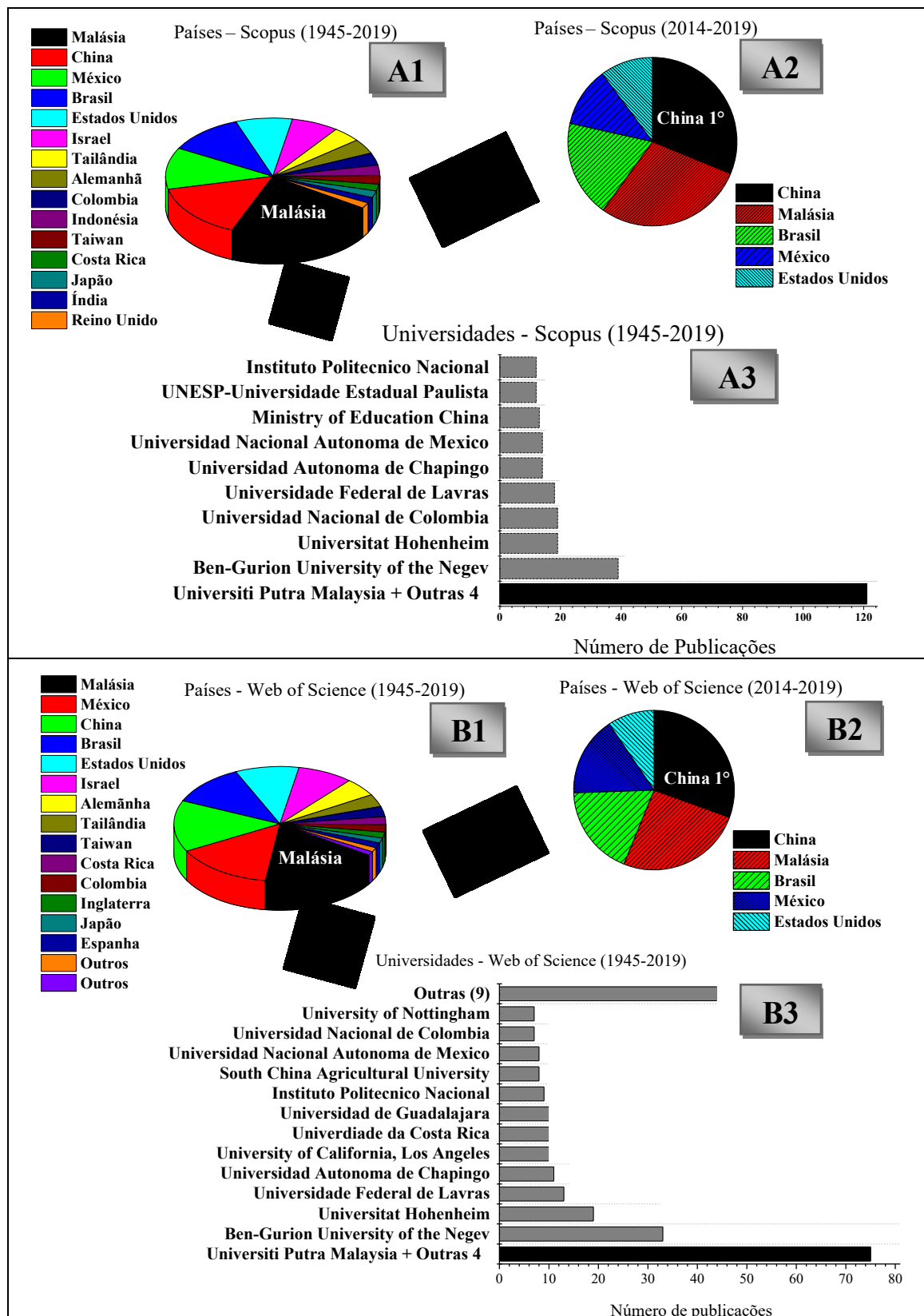
Fonte: Elaborada pela autora a parti de WOS (2018) e SJR (2018)

Dentre as revistas científicas com o maior número de publicações estão: *International Food Research Journal* (27), *Food Chemistry* (18) e Revista Brasileira de Fruticultura (15). A primeira publica artigos nas áreas de Ciência e Tecnologia de Alimentos; Nutrição e Diabetes; Agricultura e Química (multidisciplinar), a segunda tem foco na publicação sobre Química de Alimentos, constituintes bioativos; bioquímica; aditivos; contaminantes e efeitos do processamento, e a terceira é uma revista nacional cuja área de interesse abrange as frutas e fruticultura (FOOD CHEMISTRY, 2018; IFRJ, 2018; RBF, 2018).

O destaque na produção científica para a área de Ciências Agrárias, corrobora com os resultados apontados pela base de dados *SCImago*, que destacou o Brasil como o terceiro país na publicação científica dentro dessa área de conhecimento.

Quando a avaliação foi realizada em relação aos últimos 5 anos de publicação, observou-se que 50 % do número total de trabalhos foram publicados nesse período, nas duas bases de dados. Além disso, a área Ciência e Tecnologia de Alimentos (Figura 6 – B1) destacou-se em relação à agricultura e às demais áreas. Isso indica um crescente interesse por estudos relacionados à pitaya, em especial como matéria prima para a indústria de alimentos. Dentre os temas estudados o que mais se destacou foram artigos relacionados aos pigmentos da casca e da polpa roxa da pitaya, com abordagens em processo de extração (FATHORDOOBADY *et al.*, 2016; SONG *et al.*, 2016), estabilidade (CEJUDO-BASTANTE *et al.*, 2016; WONG; SIOW, 2015), quantificação (SANDATE-FLORES *et al.*, 2016), perfil (YONG *et al.*, 2017) efeitos das condições de estocagem (YONG *et al.*, 2018), encapsulação (VARGAS-CAMPOS *et al.*, 2018) e aplicação desses pigmentos em outros produtos alimentares (GENGATHARAN; DYKES; CHOO, 2016; MALDONADO *et al.*, 2017). O país que mais publicou artigos sobre pitaya entre 1945 a 2019 foi a Malásia (Figura 7 – A1 e B1) e nos últimos 5 anos a China (Figura 7 – A2 e B2).

Figura 7 - Países e universidades com publicação sobre pitaya (1945-2019) e países que mais publicaram nos últimos 5 anos



Fonte: Elaborada pela autora a partir de WOS (2018) e SRJ (2018)

De acordo com a *SCImago*, a China e a Malásia ocupam a posição 2° e 23° do ranking 2017 das publicações de artigos, respectivamente, sendo a China a que mais publica dos países da Região Asiática, enquanto a Malásia é a 6° nessa classificação (SJR, 2018).

O destaque da China e Malásia na produção científica sobre pitaya pode estar associado à produção da fruta nesses países. A pitaya tem sido amplamente cultivada na Ásia, incluindo Vietnã, Malásia e Sul da China (RUI *et al.*, 2009). De acordo com Mercado-Silva, (2018) a China é o segundo país produtor de pitaya no mundo, perdendo apenas para o Vietnã. A Malásia figura entre os maiores produtores também, ocupando a 4ª posição.

Observa-se ainda que as universidades (Figura 7 – A3 e B3) têm um papel importante sobre essas publicações na Malásia, em especial a *Universit Pruta Malaysia*, que foi destaque na publicação de artigos científicos sobre pitaya. Embora as universidades da China tenham uma grande participação na publicação científica desse país (CWTS, 2018) parece que em relação ao tema pitaya são menos expressivas, uma vez que primeira universidade de destaque da China ocupa a 8ª (*Scopus*) e a 10ª (WOS) posição no ranking.

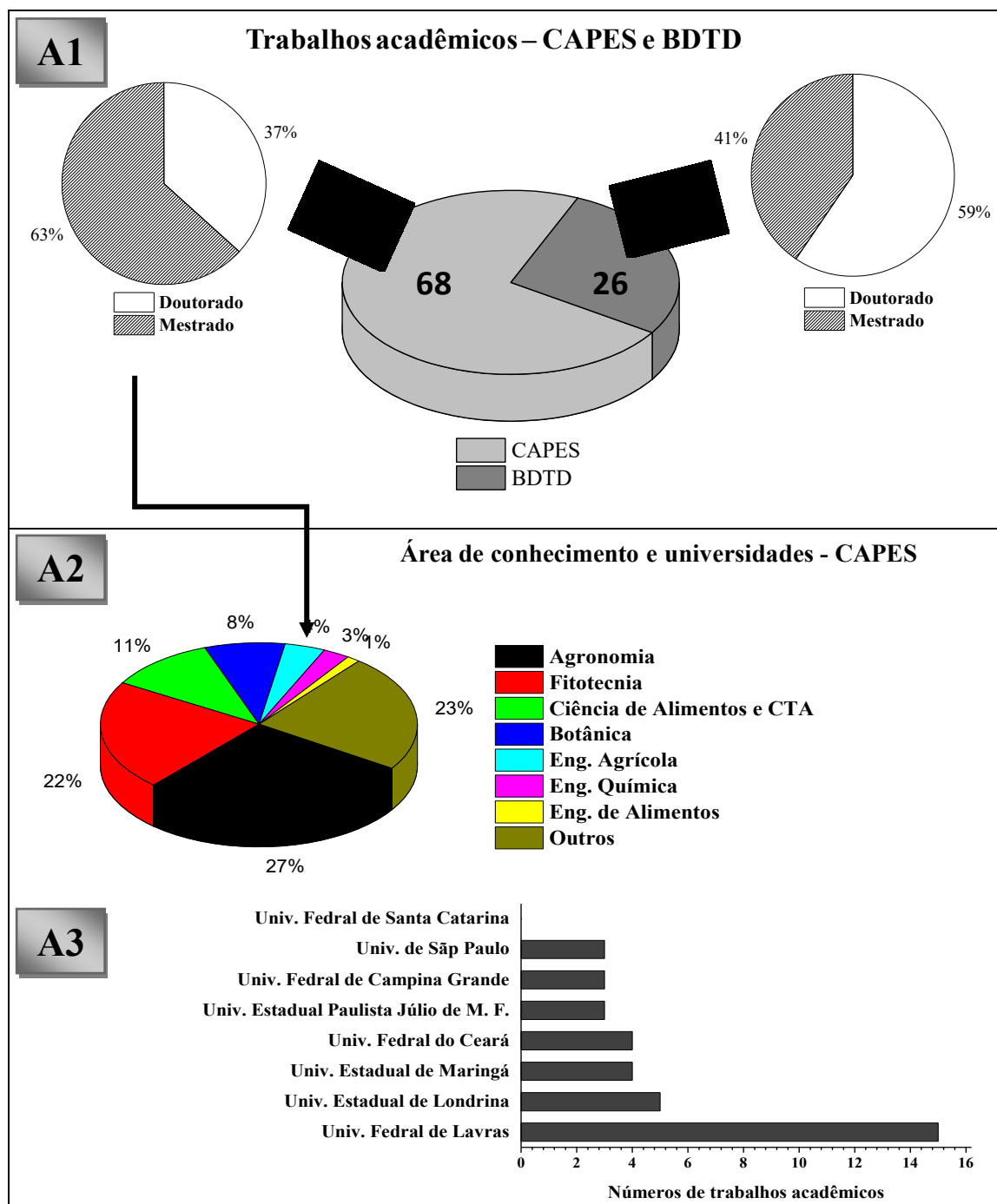
Apesar de a Malásia ser o país com maior número de publicações sobre pitaya, é em Israel (6° país no ranking) que se encontra o autor com o maior número de publicações. Yosef Mizrahi, da *Gurion University of the Negev* (Universidade pública) do *Department of Life Science*, é responsável por 29 publicações sobre pitaya, Tal universidade ocupa o segundo lugar em publicações sobre pitaya nesse ranking (Figura 7- A3 e B3).

O Brasil ocupou a 4° posição, ganhando uma posição nas publicações dos últimos 5 anos, sendo a Universidade Federal de Lavras a melhor colocada. Os trabalhos são focados no cultivo, fertilização, polinização e floração dessa fruta (COSTA *et al.*, 2015; DE MENEZES *et al.*, 2015; COSTA *et al.*, 2014 , 2014; MOREIRA *et al.*, 2011).

Como as bases de dados científicas apontam o Brasil entre os cinco países que mais publicam sobre pitaya, sendo a área de destaque Agricultura ou Ciências Agrárias, foi feita uma busca nas bases de dissertação e tese da CAPES e da BDTD, bem como, no repositório UFSC para verificar se há uma correlação entre as publicações e produção científica nas universidades sobre o tema pitaya.

Em relação às publicações científicas, são poucos os trabalhos acadêmicos da pós-graduação gerados no Brasil sobre a pitaya. No banco de dados de Teses e Dissertações da CAPES e na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) estão disponíveis 68 e 26 trabalhos acadêmicos, respectivamente (Figura 8 – A1).

Figura 8 – Trabalhos acadêmicos produzidos no Brasil com o tema pitaya até o ano de 2019 de acordo com os bancos de dados da CAPES e BDTD



Fonte: Elaborada pela autora a partir de CAPES (2018) e BDTD (2018)

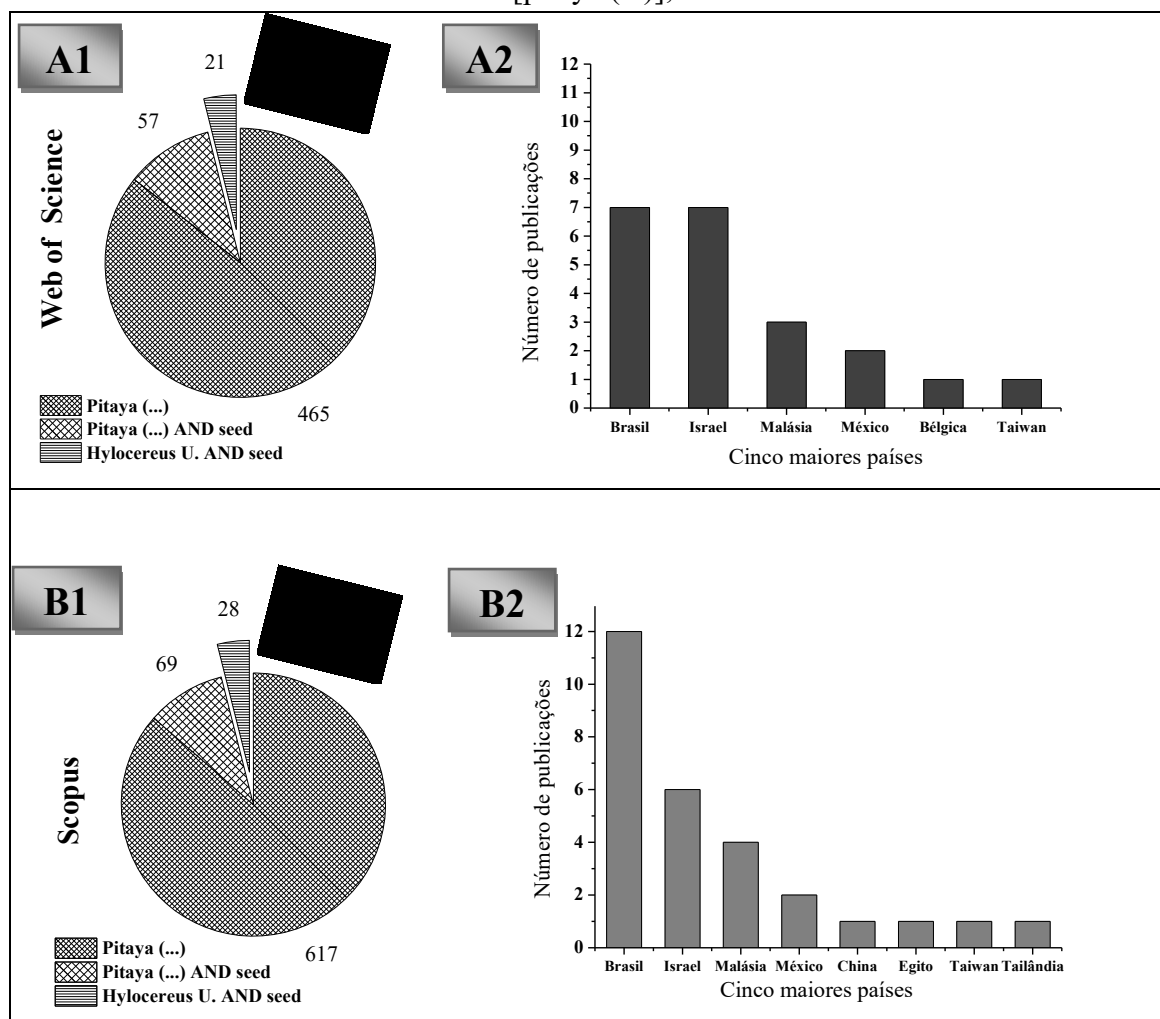
Seguindo as publicações científicas no Brasil, a área de destaque também para os trabalhos acadêmicos foi Agronomia seguida de Fitotecnia e Ciência e Tecnologia de Alimentos, em segundo e terceiro lugar, respectivamente (Figura 8 - A2).

De acordo com os dados da CAPES (Figura 8 – A3), a Universidade Federal de Lavras foi a instituição brasileira que mais produziu trabalhos acadêmicos (teses ou dissertações) sobre o tema pitaya. Entretanto, em relação à Universidade Federal de Santa Catarina, não foi encontrado nenhum trabalho acadêmico sobre pitaya nesses bancos de dados no período analisado, sendo confirmado em pesquisa conduzida no repositório da UFSC (UFSC, 2018).

### **3.2.2 Semente de pitaya - Busca restritiva**

Quando foi adicionado o descritor *seed* à busca [pitaya (...)] e quando a busca se limitou aos descritores (“*hylocereus undatus*” AND *seed*) (Quadro 1), o número de trabalhos reduziu consideravelmente, conforme pode ser observado na Figura 9 (A1 e B1). Esse resultado sugere que estudos com semente de pitaya ainda são pouco explorados, especialmente em relação à espécie *Hylocereus undatus*, uma vez que foram encontrados menos de 30 artigos publicados sobre o assunto em ambas as bases de dados (WOS e *Scopus*).

Figura 9 – Artigos publicados nas bases de dados WOS e Scopus utilizando os descritores [pitaya (...)], AND seed



Fonte: Elaborado pela autora a partir de WOS (2018) e SJR (2018)

O artigo mais antigo, datado de 1994, foi encontrado na WOS com publicação na revista *Hotscience*, cujo tema é sobre biologia reprodutiva de algumas espécies de cactos, incluindo *H. undatus* (WEISS *et al.*, 1994).

Dentre os artigos que trabalham com a semente podemos citar: *Essential fatty acids of pitaya (dragon fruit) seed oil*, que apresenta o perfil de ácidos graxos da semente de pitaya (ARIFFIN *et al.*, 2009) e *Extraction of Genomic DNA from roots and leaves of Hylocereus undatus*, que trata sobre a extração e DNA das sementes germinadas (LOO; CHANDRAN, 2012). Outros artigos (6) focam seus estudos na caracterização dos óleos e nas propriedades antioxidantes (ADNAN; OSMAN; ABDUL HAMID, 2011; LIAOTRAKOON *et al.*, 2013; LIM *et al.*, 2010; RUI *et al.*, 2009). Embora alguns desses artigos tragam o perfil de ácidos graxos e algumas propriedades



antioxidantes, eles ainda são poucos. Além disso, nenhum deles caracterizou as sementes de pitaya produzidas no Brasil, tão pouco, de um cultivo orgânico. Vale lembrar que a posição geográfica, condições climáticas e características da terra de cultivo podem modificar as concentrações e componentes de uma matriz alimentar.

O Brasil foi o país de maior destaque entre as publicações (Figura 9 – A2 e B2), cujo maior número delas ocorreu nos últimos 5 anos. De acordo com os dados da *Scopus*, dos 28 artigos, 10 foram publicados nesse período, sendo 8 de filiações brasileiras. Todos esses artigos foram classificados como da área de *Agricultural and Biological Sciences*, entretanto, nenhum deles é da subárea de Ciência e Tecnologia de Alimentos. O destaque foi para o Departamento de Agronomia de Londrina da Universidade de Londrina com 6 artigos, tendo o principal tema o processo germinativo, mas também tratando de temas como maturidade e qualidade fisiológica das sementes de *H. undatus* (LONE *et al.*, 2014; ORTIZ *et al.*, 2014, 2015, 2018; ORTIZ; MORITZ; TAKAHASHI, 2015).

Em relação aos trabalhos acadêmicos, quando o descritor *semente* foi incluído à pesquisa geral [pitaya (...)], tanto a base da CAPES quanto da BDTA, apontaram apenas 2 e 6 trabalhos, respectivamente (Quadro 1). Entre eles, 2 de doutorado e 6 de mestrado.

Sobre os trabalhos acadêmicos apontados pela base de dados da CAPES, nenhum deles tratava sobre a semente de *H. undatus*. A dissertação de Castro (2014) intitulada: “*Aplicação de revestimentos e refrigeração na conservação de pitaya (Hilocereus undatus) pós-colheita*”, tinha como tema a fruta, não sendo abordado o estudo das sementes de pitaya. Já a tese de Almeida (2013) intitulada “*Órgãos reprodutivos em Hylocereae e Rhipsalideae (Cactaceae): morfologia floral e desenvolvimento estrutural do fruto e da semente*” tinham como foco o processo de desenvolvimento reprodutivo das sementes.

Dentre os trabalhos acadêmicos apontados pela base de dados da BDTD, o trabalho de Almeida (2013) repete ao banco de dados da CAPES e o trabalho de Muniz (2017) não tinha como tema a semente de pitaya, mas sim do uso de abelhas na polinização desse fruto. Os demais trabalhos trataram de temas da área de agronomia como: processo germinativo, morfologia e maturidade fisiológica, ambos com enfoque agrônômico (LONE, 2010; MORITZ, 2013; ORTIZ, 2013; RUTHS, 2016).

A inclusão dos descritores *organic*, “*dryng kinetic*” e “*functional properties*” à pesquisa geral [pitaya (...)], bem como, a inclusão destes descritores a pesquisa “*hylocereus undatus*” AND *seed* nos bancos de dados WOS e Scopus, apresentaram como resposta nenhum trabalho ou trabalhos que não tinham relação com a pitaya ou suas sementes. O mesmo foi observado quando estes descritores foram adicionados à pesquisa nos bancos de dados da CAPES e BDTD

### **3.2.3 Busca por outras sementes**

Para confrontar com os resultados encontrados sobre pesquisas e artigos envolvendo a semente de pitaya, foi realizada uma busca sobre sementes de outras matrizes alimentares, utilizando apenas o banco de dados da *Scopus*. Para tanto, foram escolhidas sementes de frutas comuns: como maracujá, goiaba e mamão; sementes de frutas consideradas exóticas (assim como a pitaya): jaboticaba, mangaba e araçá e também sobre sementes pequenas: chia, linhaça e gergelim. Os resultados da pesquisa podem ser observados na Tabela 1.

Foi possível observar que os artigos publicados sobre as sementes de frutas comuns e sementes pequenas foram as que apresentaram maior número de publicações, com destaque para as sementes linhaça e gergelim com 2.941 e 4.711 artigos respectivamente.

Tabela1 – Artigos publicados sobre sementes de frutas comuns, frutas e exóticas e sementes pequenas na base de dados *Scopus* no período de 1945-2019

Sementes	Publicações	Posição do Brasil	Principal filiação
	<i>Pitaya</i>	69	-
<b>Frutas comuns</b>	Maracujá	353	1° (197) Univ. Federal de Viçosa (33)
	Goiaba	295	1° (70) Univ. Federal Paulista (14)
	Mamão	506	2° (92) Univ. Federal de Viçosa (22)
<b>Frutas exóticas</b>	Jaboticaba	14	1° (13) Univ. do Rio de Janeiro e Univ. de Viçosa (3 cada)
	Mangaba	39	1° (39) Univ. Federal de Sergipe; Univ. de Lavras e EMBRAPA (6 cada)
	Araça	16	1° (15) EMBRAPA (4)
<b>Sementes pequenas</b>	Chia	390	1° (67) Consejo Nacional de Investigaciones Cientificas y Tecnicas (29)
	Linhaça	2.941	4° (230) Agriculture et Agroalimentaire Canada (213)
	Gergelim	4.711	9° (146) Central Food Technological Research Institute India

Fonte: Elaborado pela autora a partir de SRJ (2018)

Os estudos com sementes de frutas (Tabela 1) foram superiores quando comparados com as publicações sobre semente de pitaya (69), com destaque para as sementes de mamão (506). Vale ressaltar que o Brasil foi destaque nas publicações de artigos sobre essas sementes, ocupando o primeiro lugar para maracujá e goiaba e o segundo lugar na publicação de sementes de mamão. Observa-se ainda que as universidades, especialmente as federais, têm um grande destaque na publicação de artigos sobre esses temas, mostrando mais uma vez, o papel dessas instituições públicas no desenvolvimento de conhecimento científico no país.

Sobre as sementes de frutas exóticas, observa-se um baixo número de publicações, quando comparadas às demais sementes pesquisadas. Indicando que as sementes dessas frutas, assim como as da pitaya, ainda são pouco exploradas cientificamente.

#### 4. CONCLUSÃO

Esse estudo evidenciou que o Brasil ocupa uma importante posição no ranking de publicações científicas no mundo, tendo grande destaque na publicação de artigos relativos ao campo de conhecimento de Ciências Agrárias e Biológicas, cujas universidades mostraram ter uma importante participação.

As publicações sobre a pitaya vêm crescendo, tendo 50 % dos artigos publicados nos últimos 5 anos, com destaque para Malásia e China, que também são os maiores produtores dessa fruta no mundo.

Embora ainda sejam poucas, o Brasil ganha destaque na publicação científica sobre semente de pitaya, cuja área de conhecimento é a agronomia, com foco no processo germinativo. A Universidade Federal de Lavras teve destaque tanto nas publicações de artigos quanto nos trabalhos de teses e dissertações, embora ainda sejam poucos.

Os resultados evidenciaram que estudos com semente de pitaya são pouco explorados, especialmente para a espécie *Hylocereus undatus*, embora seja uma das espécies mais comercializadas no país. Os artigos sobre sementes de pitaya, especialmente quando comparados a outras sementes de frutas comuns e sementes pequenas, ainda são muito escassos, especialmente quando se trata da área de conhecimento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, não havendo sido encontrado nenhum artigo de origem brasileira. Desta forma, artigos sobre semente de pitaya produzida no Brasil não foram encontrados e a Universidade Federal de Santa Catarina não apresentou nenhuma tese ou dissertação tendo como tema a pitaya, nem sua semente até o momento.

Diante desse panorama, observou-se a necessidade de realizar estudos sobre semente de pitaya, bem como, do ineditismo do tema de doutorado proposto. Observa-se uma grande necessidade de melhor caracterização das sementes, estudos que avaliem suas potencialidades tecnológicas, com o objetivo de reaproveitamento e aplicação de um resíduo da indústria com potencial aumento.

Além disso, os estudos com semente de pitaya vêm ao encontro de incentivar o cultivo orgânico dessas frutas na região de Turvo-SC, contribuindo com o bem estar dos agricultores familiares e em agregar valor ao alimento produzido. Além disso, se reaproveitamento é importante, contribuindo com a redução na geração de resíduos alimentares, tendo um impacto positivo na segurança alimentar.

## REFERÊNCIAS

ADNAN, L.; OSMAN, A.; ABDUL HAMID, A. Antioxidant activity of different extracts of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) seed. **International Journal of Food Properties**, v. 14, n. 6, p. 1171–1181, 2011.

ALMEIDA, Odair José Garcia de. **Órgãos reprodutivos em Hylocereae e Rhipsalideae (Cactaceae): morfologia floral e desenvolvimento estrutural do fruto e da semente**. 2013. Tese (Doutorado) - Curso de Biologia Vegetal, Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/100668/000722704.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 21 nov. 2018.

AMID, M.; MANAP, M. Y. A. Purification and characterisation of a novel amylase enzyme from red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel. **Food Chemistry**, v. 165, p. 412–418, 2014.

ARIFFIN, A. A. *et al.* Essential fatty acids of pitaya (dragon fruit) seed oil. **Food Chemistry**, v. 114, n. 2, p. 561–564, 2009.

BRASIL. MCTIC. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Recursos Aplicados - Indicadores Consolidados. MCTIC: 2018**. Disponível em: [https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/indicadores/detalhe/recursos\\_aplicados/indicadores\\_consolidados/2.1.1.html](https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/indicadores/detalhe/recursos_aplicados/indicadores_consolidados/2.1.1.html).

BDTD. **Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações**. Disponível em: <http://bdtd.ibict.br/vufind/>. Acesso em: 16 nov. 2018.

CAPES. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. **Catálogo de Teses e Dissertações CAPES. Disponível em:** <http://catalogodeteses.capes.gov.br/catalogo-teses/#!/>. Acesso em: 16 nov. 2018.

CASTRO, Juliana Cristina. **Aplicação de revestimentos e refrigeração na conservação de pitaita (*Hylocereus undatus*) pós-colheita'**. 2014. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Maringá, Maringá, 2014. Disponível em: <file:///C:/Users/Dell/Downloads/juliana%20castro.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2018.

CEJUDO-BASTANTE, M. J. *et al.* Impact of pH and temperature on the colour and betalain content of Colombian yellow pitaya peel (*Selenicereus megalanthus*). **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 5, p. 2405–2413, 2016.

CNPq. Conselho nacional de desenvolvimento científico e tecnológico. **Séries históricas até 2014**. CNPQ, 2018. Disponível em: <http://memoria.cnpq.br/series-historicas>. Acesso 27/12/18

COSTA, A. C. *et al.* Adubação orgânica e Lithothamnium no cultivo da pitaita vermelha. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 1, p. 77–88, 2015.

COSTA, A. N. A. C. *et al.* Floração e frutificação em diferentes tipos de cladódios de

pitaia-vermelha em Lavras-MG. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 1, p. 279–284, 2014.

CWTS. **CWTS Leiden Ranking 2018**. Disponível em: <http://www.leidenranking.com/ranking/2018/list>. Acesso em: 16 nov. 2018.

DA SILVA, A. C.; JORGE, N. Bioactive compounds of the lipid fractions of agro-industrial waste. **Food Research International**, v. 66, p. 493–500, 2014.

DE MENEZES, T. P. *et al.* Artificial Pollination and Fruit Quality in Red Pitaya. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 3, p. 801–807, 2015.

FAOSTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. **Cultivos**, 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>. Acesso em: 05 de jan. 2019

FATHORDOOBADY, F. *et al.* Effect of solvent type and ratio on betacyanins and antioxidant activity of extracts from *Hylocereus polyrhizus* flesh and peel by supercritical fluid extraction and solvent extraction. **Food Chemistry**, v. 202, p. 70–80, 2016.

FOOD CHEMISTRY. Disponível em: <https://www.journals.elsevier.com/food-chemistry>. Acesso em: 16 nov. 2018

GEAGESP. Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo. **Guia Geagesp: Pitaia**. Companhia de entrepostos e armazéns gerais de São Paulo, 2019. Disponível em: <http://www.ceagesp.gov.br/guia-ceagesp/pitaia/>. Acesso em: 03 de fev 2019.

GENGATHARAN, A.; DYKES, G. A.; CHOO, W. S. Stability of betacyanin from red pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) and its potential application as a natural colourant in milk. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 2, p. 427–434, 2016.

IFRJ. **International Food Research Journal**. Disponível em: <http://www.ifrj.upm.edu.my>. Acesso em: 16 nov. 2018.

JAMILAH, B. *et al.* Physico-chemical characteristics of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel. **International Food Research Journal**, v. 286, p. 279–285, 2011.

KOWALSKA, H. *et al.* What's new in biopotential of fruit and vegetable by-products applied in the food processing industry. **Trends in Food Science and Technology**, v. 67, p. 150–159, 2017.

LIAOTRAKOON, W. *et al.* Dragon fruit (*Hylocereus* spp.) seed oils: Their characterization and stability under storage conditions. **JAACS, Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 90, n. 2, p. 207–215, 2013.

LIM, H. K. *et al.* Chemical composition and DSC thermal properties of two species of

- Hylocereus cacti seed oil: *Hylocereus undatus* and *Hylocereus polyrhizus*. **Food Chemistry**, v. 119, n. 4, p. 1326–1331, 2010.
- LONE, A. B. *et al.* The effects of light wavelength and intensity on the germination of pitaya seed genotypes. **Australian Journal of Crop Science**, v. 8, n. 11, p. 1475–1480, 2014.
- LONE, Alessandro Borini. **Temperaturas e substratos na germinação de sementes de genótipos de pitaya**. 2010. 0 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010. Disponível em: [http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UEL\\_15612a9dae3fc8258584f963dca305cb](http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UEL_15612a9dae3fc8258584f963dca305cb). Acesso em: 21 nov. 2018
- LOO, Z. X.; CHANDRAN, S. Extraction of Genomic DNA from roots and leaves of *Hylocereus undatus*. **Israel Journal of Plant Sciences**, v. 60, n. 3, SI, p. 345–348, 2012.
- MALDONADO, R. R. *et al.* Potential application of four types of tropical fruits in lactic fermentation. **LWT - Food Science and Technology**, v. 86, p. 254–260, 2017.
- MELLO, F. R. DE *et al.* Antioxidant properties, quantification and stability of betalains from pitaya (*Hylocereus undatus*) peel. **Ciência Rural**, v. 45, n. 2, p. 323–328, 2015.
- MOREIRA, R. A. *et al.* Produção E Qualidade De Frutos De Pitaia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. Especial, p. 762–766, 2011.
- MERCADO-SILVA, Edmundo M. Pitaya—*Hylocereus undatus* (Haw). In: RODRIGUES, Sueli; SILVA, Ebenezer de Oliveira; BRITO, Ed Souza de. **Exotic Fruits Reference Guide**, Elsevier Inc, p. 339-346, 2018
- MORITZ, Aline. **Substrato e luminosidade na emergência e no desenvolvimento inicial de pitaia**. 2013. 0 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2013. Disponível em: [http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UEL\\_07ffda0f37a20a4035f804dda8e8e5a0](http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UEL_07ffda0f37a20a4035f804dda8e8e5a0). Acesso em: 21 nov. 2018.
- MUHAMMAD, K. *et al.* Food Hydrocolloids High methoxyl pectin from dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel. **Food hydrocolloids**, v. 42, p. 289–297, 2014.
- MUNIZ, João Paulo de Oliveira. **Abelhas e a polinização da pitaya (*Hylocereus spp.*): implicações no vingamento, características físicas e físico-químicas dos frutos**. 2017. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2017. Disponível em: [http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFC-7\\_c4de56de9c5e8e95fe8a4d6eda7db093](http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFC-7_c4de56de9c5e8e95fe8a4d6eda7db093). Acesso em: 21 nov. 2018.
- ORTIZ, Thiago Alberto. **Maturidade fisiológica de frutos e sementes de pitaia [*Hylocereus undatus* (Haworth) Britton & Rose]**. 2013. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2013. Disponível em:

[http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UEL\\_d2107e6ac443a3d0fe1ebd0ad566446d](http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UEL_d2107e6ac443a3d0fe1ebd0ad566446d). Acesso em: 21 nov. 2018.

ORTIZ, T. A. et al. Effects of the hydrogen potential and fungicide treatment on Pitaya seed germination. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 37, n. 1, p. 69, 2014.

ORTIZ, T. A. *et al.* Tests for evaluating the physiological quality of pitaya seeds. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 6, p. 4047–4058, 2015.

ORTIZ, T. A. *et al.* Pitaya genotypes ( *Hylocereus* spp .) seed germination at different pH levels based on statistical models. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 08, p. 1200–1204, 2018.

ORTIZ, T. A.; MORITZ, A.; TAKAHASHI, L. S. A. Physiological maturity of pitahaya (*Hylocereus undatus*) seeds and its correlation with fruit equatorial diameter. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, n. 12, p. 1197–1204, 2015.

PRIATNI, S.; PRADITA, A. Stability Study of Betacyanin Extract from Red Dragon Fruit (*Hylocereus Polyrhizus*) Peels. **Procedia Chemistry**, v. 16, p. 438–444, 2015.

RABETAFIKA, H. N. *et al.* Fractionation of apple by-products as source of new ingredients: Current situation and perspectives. **Trends in Food Science and Technology**, v. 40, n. 1, p. 99–114, 2014.

RUI, H. *et al.* Extraction and characteristics of seed kernel oil from white pitaya. **Journal of Food Engineering**, v. 93, n. 4, p. 482–486, 2009.

RUTHS, Rodrigo. **Propagação vegetativa de *Selenicereus setaceus* e a influência da temperatura e luminosidade na germinação das espécies *Selenicereus setaceus*, *Hylocereus undatus* e *Hylocereus polyrhizus***. 2016. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável, Universidade Federal da Fronteira Sul, Laranjeiras do Sul, 2016. Disponível em: [http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFFS\\_db085f76b826be0ed2d5b7807492c35c](http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFFS_db085f76b826be0ed2d5b7807492c35c). Acesso em: 21 nov. 2018.

SANDATE-FLORES, L. *et al.* Evaluation of different methods for betanin quantification in pitaya (*Stenocereus* spp.). **Agro Food Industry Hi-Tech**, v. 27, n. 1, p. 20–24, 2016.

SCOPUS. **Base de dados bibliográficos**. Disponível em: <https://www-scopus.ez46.periodicos.capes.gov.br/search/form.uri?display=advanced&origin=searchbasic&txGid=a350606c6b8efd0b00cdebba0320501b>. Acesso em: 14 nov. 2018.

SJR. **Scimago Journal & Country Rank. Ranking 2017**. Disponível em: <https://www-scimagojr.ez46.periodicos.capes.gov.br/countryrank.php?year=2017>. Acesso em: 16 nov. 2018.

SONG, H. *et al.* Purified Betacyanins from *Hylocereus undatus* Peel Ameliorate Obesity and Insulin Resistance in High-Fat-Diet-Fed Mice. **Journal of Agricultural**



and **Food Chemistry**, v. 64, n. 1, p. 236–244, 2016.

RBF. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Disponível em: <http://www.scielo.br/revistas/rbf/iaboutj.htm>. Acesso em: 16 nov. 2018.

STINTZING, F. C.; SCHIEBER, A.; CARLE, R. Betacyanins in fruits from red-purple pitaya, *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose. **Food Chemistry**, v. 77, n. 1, p. 101–106, 2002.

TENORE, G. C.; NOVELLINO, E.; BASILE, A. Nutraceutical potential and antioxidant benefits of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) extracts. **Journal of Functional Foods**, v. 4, n. 1, p. 129–136, 2012.

UFSC. Universidade Federal de Santa Catarina. **Repositório Institucional da UFSC**. Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br>. Acesso em: 15 nov. 2018.

VARGAS-CAMPOS, L. *et al.* Encapsulation and pigmenting potential of betalains of pitaya (*Stenocereus pruinosus*) fruit. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 7, p. 2436–2445, 2018.

WALIA, M. *et al.* Fatty acid composition, physicochemical properties, antioxidant and cytotoxic activity of apple seed oil obtained from apple pomace. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, n. 5, p. 929–934, 2014.

WEISS, J. *et al.* Flowering Behavior and Pollination Requirements in Climbing Cacti with Fruit Crop Potential. **Hortscience**, v. 29, n. 12, p. 1487–1492, 1994.

WICHIENTHOT, S.; JATUPORNPIPAT, M.; RASTALL, R. A. Oligosaccharides of pitaya (dragon fruit) flesh and their prebiotic properties. **Food Chemistry**, v. 120, n. 3, p. 850–857, 2010.

WONG, Y. M.; SIOW, L. F. Effects of heat, pH, antioxidant, agitation and light on betacyanin stability using red-fleshed dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) juice and concentrate as models. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 5, p. 3086–3092, 2015.

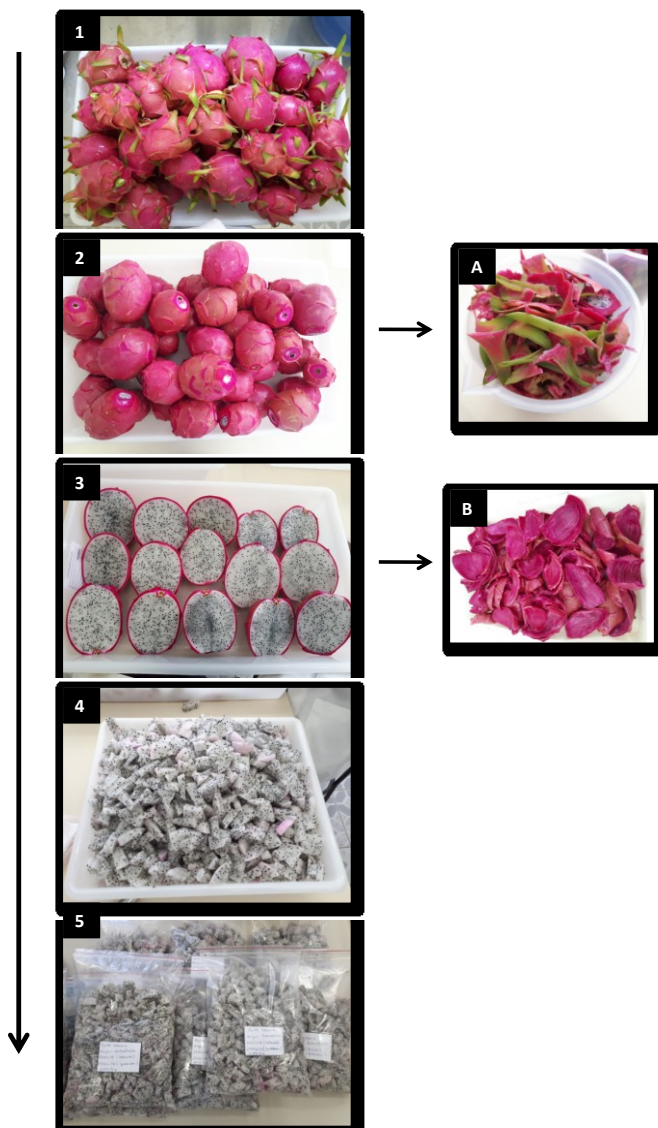
WOS. **Web of Science. Base de dados bibliográficos**. Disponível em: [http://apps-webofknowledge.ez46.periodicos.capes.gov.br/WOS\\_GeneralSearch\\_input.do?product=WOS&search\\_mode=GeneralSearch&SID=6FuvWSMzTuT7BHte2JK&preferencesS](http://apps-webofknowledge.ez46.periodicos.capes.gov.br/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=6FuvWSMzTuT7BHte2JK&preferencesSaved=)aved=. Acesso em: 14 nov. 2018.

WU, L. C. *et al.* Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. **Food Chemistry**, v. 95, n. 2, p. 319–327, 2006.

YONG, Y. Y. *et al.* Comparative Study of Betacyanin Profile and Antimicrobial Activity of Red Pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) and Red Spinach (*Amaranthus dubius*). **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 72, n. 1, p. 41–47, 2017.

YONG, Y. Y. *et al.* Effect of refrigerated storage on betacyanin composition, antibacterial activity of red pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) and cytotoxicity evaluation of betacyanin rich extract on normal human cell lines. **LWT - Food Science**

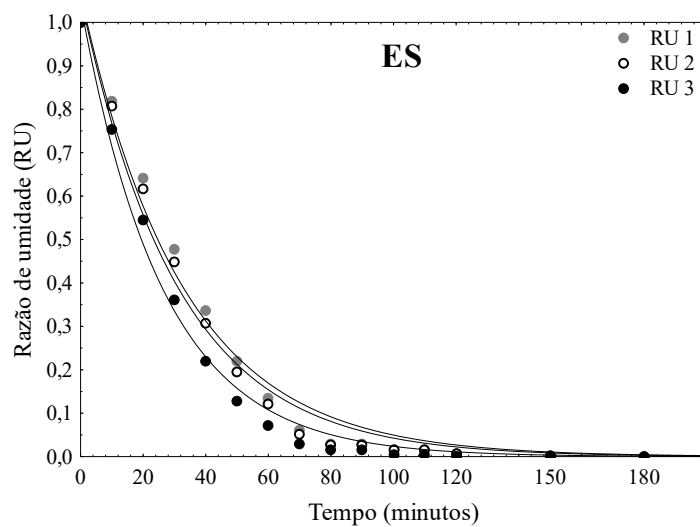
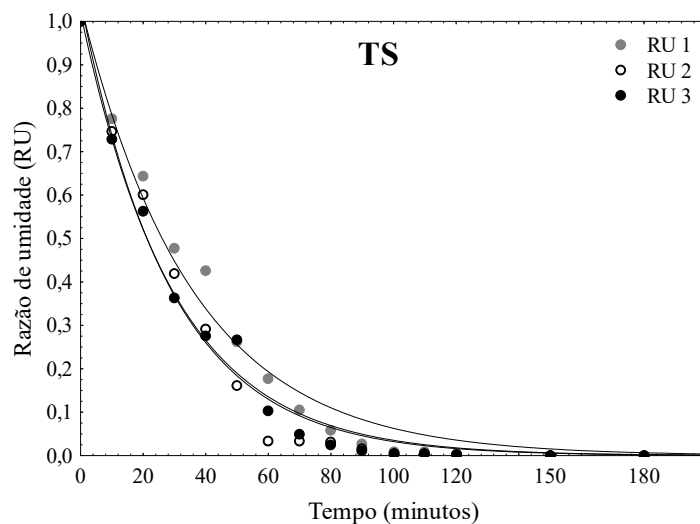
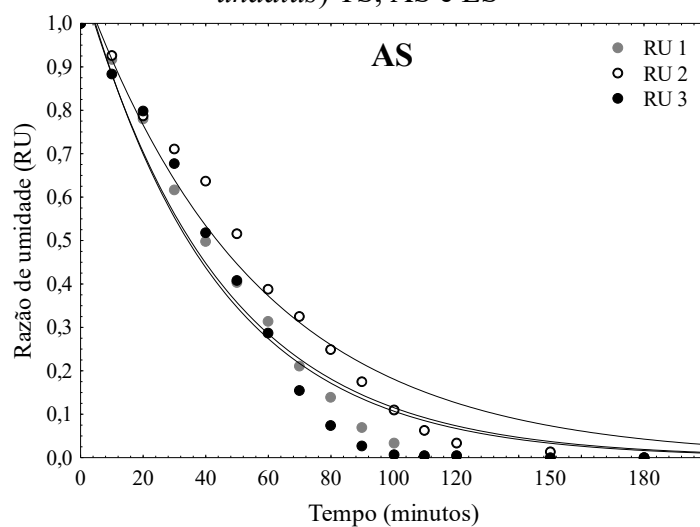
## APÊNDICE CAPÍTULO 3

APÊNDICE A – Etapas do preparo das amostras de pitaya *H. undatus* para posteriores estudos com a semente

Fonte: Elaborado pela autora

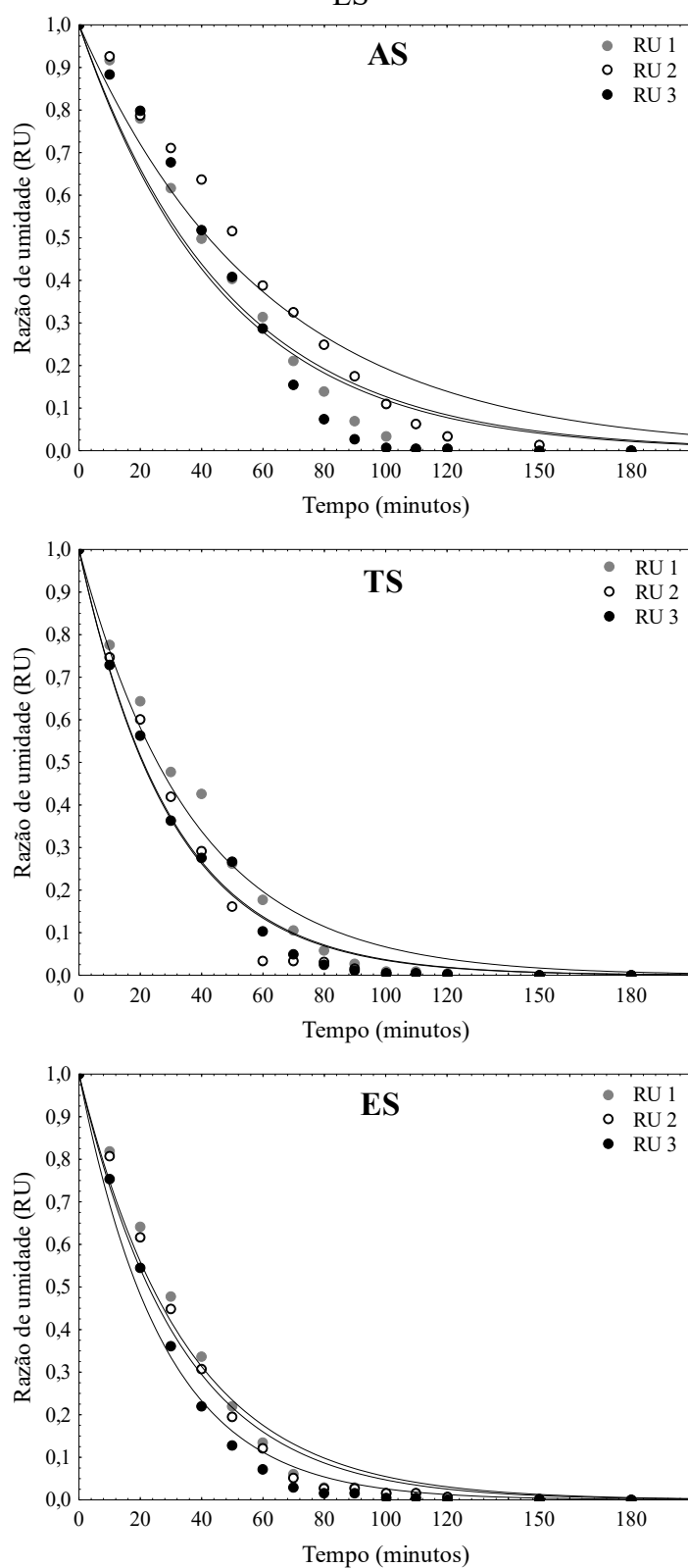
1. Pitaya após lavagem e sanitização, 2. Remoção das brácteas, 3. Abertura da fruta e remoção da casca, 4. Fracionamento da polpa, 5. Acondicionamento da polpa, A. Resíduo das brácteas, B. Resíduo das cascas.

**APÊNDICE B** - Ajuste do modelo Semiempírico de Henderson & Pabis aos dados experimentais dos ensaios de cinética de secagem a 45°C das sementes de pitaya orgânica (*H. undatus*) TS, AS e ES



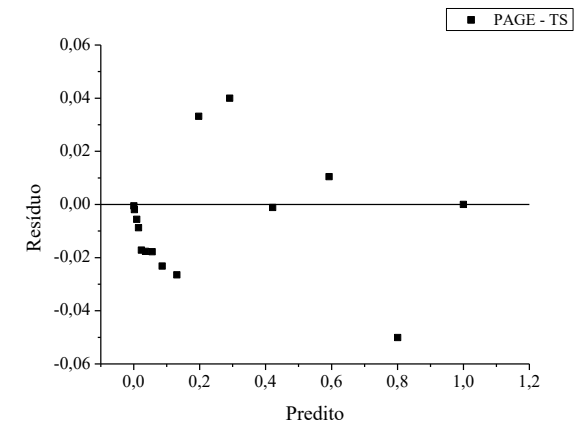
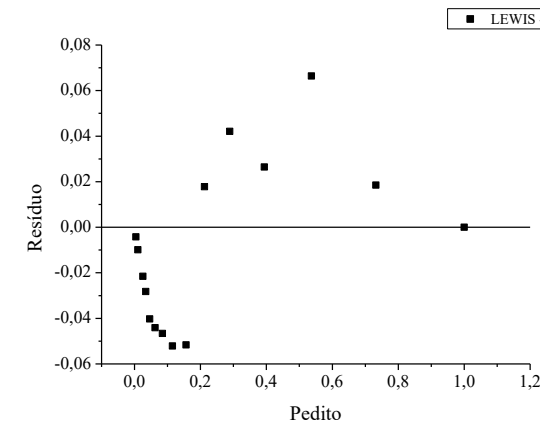
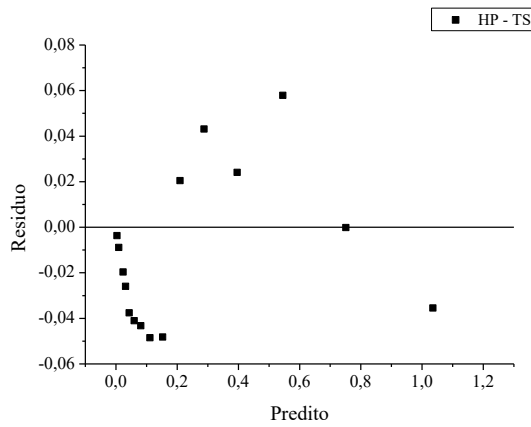
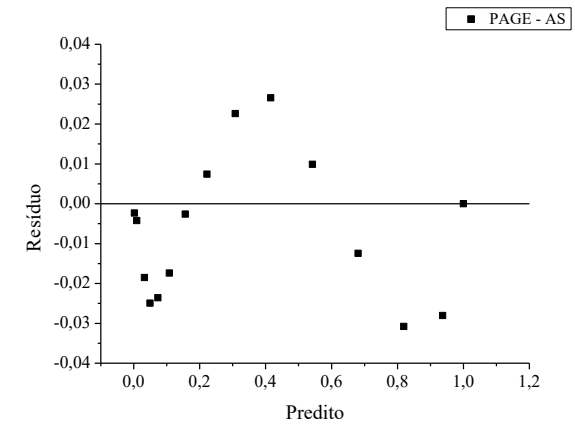
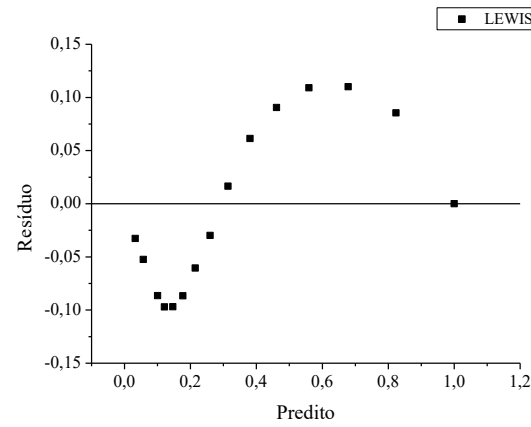
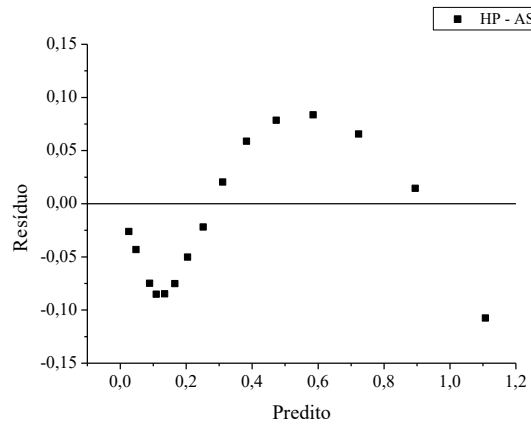
Fonte: Elaborado pela autora

**APÊNDICE C** - Ajuste do modelo Semiempírico de Lewis aos dados experimentais dos ensaios de cinética de secagem a 45°C das sementes de pitaya orgânica (*H. undatus*) TS, AS e ES



Fonte: Elaborado pela autora

**APÊNDICE D** – Gráficos dos resíduos dos ajustes dos modelos de HP, Lewis e Page das cinéticas de secagem das sementes de pitaya orgânica (*H. undatus*) por separação AS e TS



## APÊNDICE CAPÍTULO 5

**APÊNDICE A – Protocolos de preparado de amostra para corte histológico em criostato para caracterização morfológica de sementes de pitaya por microscopia óptica**

<b>PROTOCOLO I</b>	<b>PROTOCOLO II</b>	<b>PROTOCOLO III</b>
<b>Amostras:</b> Polpa congelada e semente congelada	<b>Amostras:</b> Polpa em cubos fresca e semente fresca	<b>Amostras:</b> Cubos de polpa fresca
<b>1) FIXAÇÃO</b>  Não foi realizada	<b>1) FIXAÇÃO</b> As sementes foram colocadas em cassete histológico A polpa foi cortada em cubos de ~ 1,5 cm x 1,5 cm Glutaraldeído (50 %) 2,5 % Volume 1:20 (semente/solvente) Tempo: 48 h (refrigeração)	<b>1) FIXAÇÃO</b> A polpa foi cortada em cubos de ~ 1,5 cm x 1,5 cm Glutaraldeído (50 %) 2,5 % Volume 1:20 (semente/solvente) Tempo: 10 dias em refrigeração Realizado vácuo uma vez ao dia por 1h
<b>1.2) Lavagens com tampão (PBS 0,1 M)</b> Não foi realizada	<b>1.2) Lavagens com tampão (PBS 0,1 M)</b> Amostras Lavadas 3x por 30 minutos cada.	<b>1.2) Lavagens com tampão (PBS 0,1 M)</b> Amostras lavadas 3x por 30 minutos cada.
<b>2) INCLUSÃO SACAROSE</b>  Não foi realizada	<b>2) INCLUSÃO SACAROSE</b> Sacarose em tampão 10 % - 2h Sacarose em tampão 20 % - 2h Sacarose em tampão 30 % - Permaneceu na solução até 24h antes do corte.	<b>2) INCLUSÃO SACAROSE</b> Sacarose em tampão 10 % - 2h Sacarose em tampão 20 % - 2h Sacarose em tampão 30 % - Permaneceu na solução até 24h antes do corte
<b>2.1) Congelamento</b> As polpas estavam previamente congeladas a -18 °C As sementes foram emblocadas com Tisseuplus da Fisher Helathcare e congeladas.	<b>2.1) Congelamento</b> As amostras em cubo foram embaladas em papel alumínio e congeladas a -80 °C As sementes foram removidas do cassete histológico e emblocadas com Tisseuplus da Fisher Helathcare e congeladas.	<b>2.1) Congelamento</b> As polpas em cubos foram embaladas em papel alumínio e congeladas a -80 °C

\*Nota: As etapas, ou parte de etapas grifadas em cinza, identificam as mudanças mais significativas em relação ao protocolo anterior.

**PÊNDICE B** - Protocolos de preparado de amostra para corte histológico em parafina para caracterização morfológica de sementes de pitaya por microscopia óptica

<b>PROTOCOLO I</b>	<b>PROTOCOLO II</b>	<b>PROTOCOLO III</b>
<b>Amostras:</b> Sementes: desidratada, descongelada e congelada.	<b>Amostras:</b> Semente fresca	<b>Amostras:</b> Semente fresca
<b>1) FIXAÇÃO</b> As sementes foram colocadas tubos falcon 15 mL Glutaraldeído (50 %) 2,5 % Volume 1:20 (semente/solvente) Tempo: 48 h (refrigeração)	<b>1) FIXAÇÃO</b> As sementes foram colocadas tubos falcon 15 mL Glutaraldeído (50 %) 2,5 % Volume 1:20 (semente/solvente) Tempo: 48 h (refrigeração)	<b>1) FIXAÇÃO</b> As sementes foram colocadas tubos falcon 15 mL Glutaraldeído (50 %) 2,5 % Volume 1:20 (semente/solvente) Tempo: 10 dias (refrigeração) Aplicado vácuo uma vez ao dia por 1h
<b>1.2) Lavagens com tampão (PBS 0,1 M)</b> Amostras lavadas 3x por 30 minutos cada.	<b>1.2) Lavagens com tampão (PBS 0,1 M)</b> Amostras lavadas 3x por 30 minutos cada.	<b>1.2) Lavagens com tampão (PBS 0,1 M)</b> Amostras lavadas 3x por 30 minutos cada.
<b>2) DESIDRATAÇÃO I</b> Etanol 50 % - 30 minutos Etanol 70 % - até a próxima etapa em refrigeração Volume - 1:20 (semente/etanol)	<b>2) DESIDRATAÇÃO I</b> Etanol 50 % - 30 minutos Etanol 70 % - até a próxima etapa em refrigeração Volume - 1:20 (semente/etanol)	<b>2) DESIDRATAÇÃO I</b> Etanol 50 % - 30 minutos Etanol 70 % - até a próxima etapa em refrigeração Volume - 1:20 (semente/etanol)
<b>3) PROCESSAMENTO</b> <b>3.1) Desidratação II</b> Etanol 70 % (2h) Etanol 90 % (2h) Etanol 100 % I (2h) Etanol 100 % II (2h)	<b>3) PROCESSAMENTO</b> <b>3.1) Desidratação II</b> Etanol 70 % (1:30h) Etanol 90 % (1:30h) Etanol 100 % I (1:30h) Etanol 100 % II (1:30h)	<b>3) PROCESSAMENTO</b> <b>3.1) Desidratação II</b> Etanol 70 % (1:30h) Etanol 80 % (1:30h) Etanol 90 % (1:30h) Etanol 100 % I (2h) Etanol 100 % II (6h)
<b>3.2) Diafanização</b> Xilol I – 50 min Xilol II – 1h	<b>3.2) Diafanização</b> Xilol I – 40 min Xilol II – 40 min	<b>3.2) Diafanização</b> Xilol I – 1h Xilol II – 1h
<b>3.2) Inclusão</b> Parafina (56-58 °C) I – 6h Parafina (56-58 °C) II – 6h Parafina (56-58 °C) III – 6h	<b>3.2) Inclusão</b> Parafina (56-58 °C) I – 3h Parafina (56-58 °C) II – 3h Parafina (56-58 °C) III – 3h	<b>3.2) Inclusão</b> Parafina (56-58 °C) I – 6h Parafina (56-58 °C) II – 6h Parafina (56-58 °C) III – 10h

Fonte: Elaborado pela autora (2022)




**ANEXO**

## ANEXO CAPÍTULO 3

ANEXO A – Capa do artigo publicado na revista *Food Science and Technology* referente a este capítulo da tese

LWT - Food Science and Technology 153 (2022) 112353

---




**ELSEVIER**

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

**LWT**

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/lwt](http://www.elsevier.com/locate/lwt)




---

## Effect of separation methods on the drying kinetics of organic pitaya (*Hylocereus undatus* [Haw.] Britton & Rose) seed

Fabiani Cristina de Oliveira Santana<sup>a</sup>, Karoline Panato<sup>a</sup>, Mariana Angonese<sup>b</sup>, Carmen Maria Olivera Müller<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Federal University of Santa Catarina - Department of Food Science and Technology, Rodovia Admar Gonzaga, 1.346 - Food Technology Laboratory, Itacorubi, Florianópolis, CEP: 88034-000, SC, Brazil

<sup>b</sup> Federal University of Santa Catarina - Department of Chemical Engineering and Food Engineering, Brazil



---

**ARTICLE INFO**

**Keywords:**  
Mucilage  
Pectinase  
Effective diffusion coefficient  
Mathematical modeling  
Separation methods

**ABSTRACT**

Organic pitaya seeds are rich in protein, lipids and bioactive compounds, but their separation from the pulp is a technological challenge. The objective of this study was to evaluate the effect of the seed-pulp separation method on the seeds' drying process. Three separation methods were evaluated: acid (AS), thermal (ES) and enzymatic (TS). After separation, the seeds were dried at 45 °C, and the kinetic curves, the drying rates, and the effective diffusion coefficient were determined. All treatments promoted the separation of the pulp from the seed, however, ES treatment promoted the best separation, which significantly affected the drying process. The observed effects were the decreased of the initial moisture content, reduced the drying rate by 6 times, and the diffusivity by 1.7 times when compared to the seeds obtained by the AS treatment. The constant rate period seemed to control the drying kinetics, and Page's semi-empirical model best fitted the experimental data.

ANEXO B – Trabalho apresentado no CBCTA 2018 referente ao conteúdo deste capítulo da tese



**CBCTA 2018**  
XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

O Uso Consciente da Biodiversidade: Perspectivas para o Avanço da Ciência e Tecnologia de Alimentos

**CERTIFICADO**

13 a 16 de Agosto de 2018 - Belém, Pará, Brasil

Certificamos que o trabalho científico,

**4152 - CINÉTICA DE SECAGEM E MODELAGEM MATEMÁTICA DE SEMENTES DE PITAYA (HYLOCEREUS UNDATUS)** foi apresentado na forma de apresentação E-PÔSTER no **XXVI Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, realizado no Hangar Centro de Convenções em Belém do Pará, no período de 16 a 16 de agosto de 2018, tendo como autores: **KAROLINE PANATO, CARMEN MARIA OLIVERA MULLER; FABIANI CRISTINA DE OLIVEIRA SANTANA.**

Belém, Pará 16 de agosto de 2018.



Professora Dr<sup>a</sup> Luiza Helena Meller da Silva  
Presidente do XXVI Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos



Professora Dr<sup>a</sup> Luciana de Fátima Henriques Lourenço  
Coordenação de Trabalhos Científicos do XXVI Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos

Promoção:



Realização:



Patrocínio:







Organização:



ANEXO C – Trabalho completo apresentado no III CTOACTA 2020 referente ao conteúdo deste capítulo da tese



III Congresso Tocantinense de Ciência e Tecnologia de Alimentos - CTOACTA

02 a 04 de Dezembro de 2020

**"Estratégias Emergentes em Inovação e Segurança de Alimentos"**

**CERTIFICADO**

Certificamos que o artigo **Aproveitamento do resíduo agroindustrial de sementes de pitaya orgânica (*Hylocereus undatus*): Um estudo de métodos de separação semente-polpa** de autoria(s) de **Fabiani Cristina de Oliveira Santana, Karoline Panato e Carmen Maria Olivera Müller** foi apresentado na forma de apresentação oral, no **III CONGRESSO TOCANTINENSE DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**, realizado de forma online no período de 02 a 04 de Dezembro de 2020.

PALMAS - TO, 16 de Dezembro de 2020.

  
\_\_\_\_\_  
**Alex Fernando de Almeida**  
Coordenador do Evento

Realização:



ANEXO D – Prêmio categoria Melhores Trabalhos no III CTOACTA 2020 referente ao conteúdo deste capítulo da tese

02 a 04 de Dezembro de 2020

III Congresso Tocantinense de Ciência e Tecnologia de Alimentos - CTOACTA

**"Estratégias Emergentes em Inovação e Segurança de Alimentos"**

**CERTIFICADO**

Certificamos que o artigo **Aproveitamento do resíduo agroindustrial de sementes de pitaya orgânica (Hylocereus undatus): Um estudo de métodos de separação semente-polpa** de autoria(s) de **Fabiani Cristina de Oliveira Santana, Karoline Panato e Carmen Maria Olivera Müller** foi premiado na categoria **MELHORES TRABALHOS** submetidos no **III CONGRESSO TOCANTINENSE DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**, realizado de forma online no período de 02 a 04 de Dezembro de 2020.

PALMAS - TO, 16 de Dezembro de 2020.

Realização:

**Alex Fernando de Almeida**  
Coordenador do Evento

**PPOCTA**  
PROJETO ESPECIAL DE PESQUISA  
PÓS-GRADUADO EM CIÊNCIAS  
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**UFPA**  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
1976

## ANEXO CAPÍTULO 4

**ANEXO A** – Certificado de trabalho científico apresentado no I *Congreso Euroamericano de Procesos y Productos Alimentarios* (I CEAPA), como parte do capítulo 4 desta tese.

**I CONGRESO EUROAMERICANO DE  
PROCESOS Y PRODUCTOS  
ALIMENTARIOS**

# Certificado

Certificamos a todos los efectos que el trabajo titulado **PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE SEMILLAS DE PITAYA ORGÁNICA (HYLOCEREUS UNDATOS)**, de la autoría de **FABIANI CRISTINA DE OLIVEIRA SANTANA, CARMEN MARIA OLIVERA MÜLLER** fue presentado durante el I Congreso Euroamericano de Procesos y Productos Alimentarios, realizado del 9 al 11 de diciembre de 2021, con una carga total de 30 horas.

Brasil, 13 de diciembre de 2021.

 Prof.ª. Dra. Poliana Mendes de Souza Chair de CEAPA Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri	 Prof.ª. Dr.ª. Aricia Mara Melo Possas Organizador de CEAPA Universidad de Córdoba	 Prof.ª. Dr.ª. Arlette Santacruz López Organizador de CEAPA Tecnológico de Monterrey	 Prof.ª. Dr.ª. José Reyes de Corcuera Organizador de CEAPA Georgia University
--	---	--	--

Realización:

 UNIVERSIDAD DE CORDOBA	 Tecnológico de Monterrey	 UNIVERSITY OF GEORGIA	 UFVJM
---	---	--	--

CÓDIGO DO CERTIFICADO: CE1PG-PC4E4-FF207-F823Q  
VERIFIQUE AUTENTICIDADE EM: <https://ma.evrite/certificado/wilder/CE1PG-PC4E4-FF207-F823Q>



**ANEXO B** – Certificado de Menção honrosa para o trabalho que foi classificado entre os 10 melhores trabalhos apresentados no *I Congreso Euroamericano de Procesos y Productos Alimentarios (I CEAPA)*



# Certificado

Certificamos para los fines adecuados que

## FABIANI CRISTINA DE OLIVEIRA SANTANA

presentó el trabajo PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE SEMILLAS DE PITAYA ORGÁNICA (HYLOCEREUS UNDATOS) de la autoría de Fabiani Cristina de Oliveira Santana e Carmen Maria Olivera Müller, el cual recibió una mención honorífica entre los mejores trabajos presentados durante el I Congreso Euroamericano de Procesos y Productos Alimentarios, realizado del 9 al 11 Diciembre de 2021.

Brasil, 16 de diciembre de 2021.

  
Prof. Dra. Poliana Mendes de Souza  
Chair de CEAPA  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

  
Prof. Dr. Anicia Mara Melo Possas  
Organizador de CEAPA  
Universidad de Córdoba

  
Prof. Dr. Anette Santacruz López  
Organizador de CEAPA  
Tecnológico de Monterrey

  
Prof. Dr. José Reyes de Corcuera  
Organizador de CEAPA  
Georgia University

  
UNIVERSIDAD DE CORDOBA

  
Tecnológico de Monterrey

  
UNIVERSITY OF GEORGIA

  
UFVJM

Realización:

Codigo de Certificado: 101965A73F6ED8C7913751 · Verifique la autenticidad en: [www.e-certificado.com](http://www.e-certificado.com)



**MENCIONES HONORÍFICAS CEAPA**

TITULO	AUTOR PRINCIPAL
ESTABILIDADE DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE, CAROTENOIDES, VITAMINA C, FLAVONOIDEOS E ANTOCIANINAS DE GELEIA DE ARATICUM (ANNONA CRASSIFLORA MART.) EM DIFERENTES EMBALAGENS	Maria Olivia dos Santos Oliveira
EXTRACCIÓN, PROPIEDADES TECNOLÓGICAS Y ANTIOXIDANTES DEL MUCILAGO DE PERESKIA ACULEATA MILLER CON FINES DE ENCAPSULACIÓN	Mariana Justino Masugossa
WATER TREATMENT USING PHASEOLUS VULGARIS L. AS NATURAL COAGULANT	Flavia Vieira da Silva Medeiros
<b>PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE SEMILLAS DE PITAYA ORGÁNICA (HYLOCEREUS UNDATOS)</b>	<b>Fabiani Cristina de Oliveira Santana</b>
EFEITO DA ADIÇÃO DE CACAU SUBFERMENTADO EM CHOCOLATES NA BIOACESSIBILIDADE DE AMINAS BIOATIVAS	Bruno Martins Dala-Paula
OVERVIEW OF FOOD ENGINEERING COURSES IN BRAZIL	Karen Signori Pereira
PURIFICATION OF AQUEOUS EXTRACTS OF BEETROOT HUSKS THROUGH MODIFIED GRAPHENE OXIDE MEMBRANE	Nicole Novelli Do Nascimento
MILLING DEGREE OF WHEAT FLOUR AND WHOLE MILK AND THEIR EFFECTS ON NUTRITIONAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF CAKES	Victoria Marques Gropelli
FUNIONES MÚLTIPLES DE FLORA ALIMENTICIA CULTIVADAS SOBRE SUSTRATOS CONSTRUIDOS	Helayne Aparecida Maievs
ENERGIA RENOVAVEL NA PRODUÇÃO DE PIGMENTOS A BASE DE MICROALGAS: UM COMPONENTE CHAVE PARA A NEUTRALIDADE CLIMÁTICA	Rosângela Rodrigues Dias