



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS**

SAMIRIA DE JESUS LOPES SANTOS

**SECAGEM POR REFRACTANCE WINDOW DE CARÁ-ROXO
(*Dioscorea trifida*) VISANDO A OBTENÇÃO DE COMPOSTOS DE
IMPORTÂNCIA TECNOLÓGICA**

**BELÉM-PA
2020**

SAMIRIA DE JESUS LOPES SANTOS

**SECAGEM POR REFRACTANCE WINDOW DE CARÁ-ROXO
(*Dioscorea trifida*) VISANDO A OBTENÇÃO DE COMPOSTOS DE
IMPORTÂNCIA TECNOLÓGICA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal do Pará como requisito parcial para obtenção do título de doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Antonio Manoel da Cruz Rodrigues

BELÉM-PA
2020

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

S237s Santos, Samíria de Jesus Lopes.
SECAGEM POR REFRACTANCE WINDOW DE CARÁ-
ROXO (*Dioscorea trifida*) VISANDO A OBTENÇÃO DE
COMPOSTOS DE IMPORTÂNCIA TECNOLÓGICA / Samíria
de Jesus Lopes Santos. — 2020.
73 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Antonio Manoel da Cruz Rodrigues Tese
(Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de
Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de
Alimentos, Belém, 2020.

1. cará-roxo. 2. *Dioscorea trifida*. 3. propriedades
termodinâmicas. 4. antocianinas. 5. Refractance Window. I. Título.

CDD 338.47664

SAMIRIA DE JESUS LOPES SANTOS

**SECAGEM POR REFRACTANCE WINDOW DE CARÁ-ROXO
(*Dioscorea trifida*) VISANDO A OBTENÇÃO DE COMPOSTOS DE
IMPORTÂNCIA TECNOLÓGICA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Antonio Manoel da Cruz Rodrigues
FEA/ITEC/UFPA – Orientador

Prof. Dr. Raul Nunes de Carvalho Junior
FEA/ITEC/UFPA - Membro interno

Prof. Dr. Nelson Rosa Ferreira
FEA/ITEC/UFPA - Membro interno

Profa. Dra. Patricia Moreira Azoubel
Engenharia Química/UFPE - Membro Externo

Profa. Dra. Edna Regina Amante
Engenharia de Alimentos/UFSC – Membro Externo

Dedicatória

A todos que acreditaram em mim!

“Ninguém é suficientemente perfeito, que não possa aprender com o outro e, ninguém é totalmente destituído de valores que não possa ensinar algo ao outro.”

São Francisco de Assis

AGRADECIMENTOS

Minha gratidão a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a execução e construção deste trabalho.

Agradeço a Deus por me permitir chegar tão longe, pela oportunidade de conhecer tantas pessoas que deram um pouco de sua história de vida e compartilharam de tantos conhecimentos. Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Antonio Manoel pela dedicação, paciência e orientação competente.

A Profa. Dra. Luiza Meller por todo empenho em cada etapa e cuidado em fazer o melhor.

Aos professores membros de todas as bancas ao longo deste doutorado que puderam contribuir e agregar conhecimento na minha jornada acadêmica

A Universidade Federal do Pará e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos

A CAPES pela provisão da bolsa de doutorado

Agradeço aos colegas de laboratório (LAMEFI) pela ajuda com as análises, nas discussões e aprendizado.

A todos os meus familiares por superarem a distância, me apoiarem, por sempre acreditarem que posso melhorar e buscar sonhar mais um sonho.

Aos meus amigos que me acompanham de forma extraordinária com suas orações e amizade fiel.

Grata a todos!

RESUMO

O cará-roxo (*Dioscorea trifida*) é um tubérculo rico em componentes nutricionais e medicinais disponíveis a baixo custo. O Norte e nordeste do Brasil são os maiores produtores do gênero *Dioscorea*. Contudo, a espécie *Dioscorea trifida*, apesar de potencialmente atrativa, é ainda pouco estudada. O consumo deste tubérculo abrange, geralmente, a agricultura familiar e a venda em feiras livres. Além disso, o alto conteúdo de umidade reduz o tempo de uso e possibilidades industriais. Boa parte dos dados disponíveis nas bases de dados são sobre extração de amido e propriedades físicas, químicas e tecnológicas, produção de filmes biodegradáveis a partir da farinha destes tubérculos, poucos relatos sobre extração e caracterização de compostos antioxidantes. Nenhum estudo relata dados de secagem com o tubérculo. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da secagem em *Refractance Window* sobre o cará-roxo e verificar o potencial tecnológico do cará-roxo após a secagem. Tubérculos de *Dioscorea trifida* foram processados e submetidos à secagem em *Refractance Window* nas temperaturas de 70 °C, 80 °C e 90 °C. Outra parte da pasta de *Dioscorea trifida* processada foi submetida à secagem por liofilização. Foram avaliados parâmetros de transferência de calor e massa da secagem, além do comportamento físico-químico e capacidade antioxidante da amostra seca. A difusividade de umidade e o coeficiente de transferência de massa foram determinados usando o modelo Dincer e Dost. Com os resultados observou-se que o processo de desidratação das amostras ocorreu em um curto espaço de tempo. Os coeficientes de difusividade variaram de $2,91 \times 10^{-7}$ a $6,81 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ e o coeficiente de transferência de massa variou de $1,16 \times 10^{-4}$ a $1,34 \times 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. A energia de ativação foi obtida em 44,16 kJ.mol⁻¹. Os resultados das propriedades termodinâmicas apontaram para um processo não espontâneo, com valores positivos de entalpia e energia livre de Gibbs e valores negativos de entropia. Nos pós de *Dioscorea trifida* obtidos após secagem em *Refractance Window*, mostraram o carboidrato como o principal constituinte (85,66 a 86,47 %) com teor de amido superior a 69,0 %. Entre as propriedades tecnológicas, o índice de absorção de óleo do pó de cará-roxo demonstrou que é influenciado pela temperatura de secagem em RW. A mais alta taxa de retenção de compostos bioativos (> 50 %) em pós ocorreram em temperaturas de 70 e 80 °C. A secagem por RW é uma técnica viável para a secagem de tubérculos de *Dioscorea trifida*. O pó resultante da secagem apresentou, apesar de perdas esperadas com a secagem, potencial industrial para aplicação em alimentos. Por suas valiosas propriedades nutricional e antioxidante, o inhame roxo (*Dioscorea trifida*) possui grande variedade de aplicações e pode ser explorando quanto aos seus componentes bioativos.

Palavras-chave: cará-roxo, *Dioscorea trifida*, antocianinas e *Dioscorea*, propriedades termodinâmicas e cará-roxo, *Refractance Window*

ABSTRACT

The purple yam (*Dioscorea trifida*) is a tuber rich in nutritional and medicinal components available at low cost. The North and Northeast of Brazil are the largest producers of the *Dioscorea* genus. However, a *Dioscorea trifida* species, despite its attractive potential, is still poorly studied. The consumption of this tuber generally includes family farming and sales at open markets. In addition, the high moisture content reduces the time of use and industrial possibilities. Much of the available information in the databases is on starch extraction and physical, compound and technological properties, production of biodegradable films from the flour of these tubers, few reports on extraction and characterization of antioxidant compounds. None of it reports data on drying with the tuber. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effects of drying in *Refractance Window* on the purple yam and to verify the technological potential of the purple yam after drying. *Dioscorea trifida* tubers were processed and drilled to dry in *Refractance Window* at temperatures of 70, 80 and 90 °C. Another part of the processed *Dioscorea trifida* mass was subjected to freeze-drying. Heat transfer and drying mass parameters were transferred, in addition to the physical-chemical effect and antioxidant capacity of the dry sample. The moisture diffusivity and the mass transfer coefficient were determined using the Dincer and Dost model. With the results, it was observed that the dehydration process of the samples occurred in a short time. The diffusivity coefficients ranged from $2,91 \times 10^{-7}$ to $6,81 \times 10^{-7}$ m².s⁻¹ and the mass transfer coefficient ranged from $1,16 \times 10^{-4}$ to $1,34 \times 10^{-4}$ ms⁻¹. The activation energy was obtained at 44,16 kJ.mol⁻¹. The results of the thermodynamic properties pointed to a non-spontaneous process, with positive values of enthalpy and Gibbs free energy and negative values of entropy. In the *Dioscorea trifida* powders obtained after drying in *Refractance Window*, they showed carbohydrate as the main constituent (85,66 to 86,47 %) with a starch content greater than 69,0 %. Among the technological properties, the oil absorption index of the powder was strongly dependent on the drying temperature RW. The highest retention rate of bioactive compounds (> 50 %) in powders occurred at temperatures of 70 and 80 °C. RW drying is a viable technique for drying tubers of *Dioscorea trifida*. The powder resulting from drying, despite expected losses with drying, presented an industrial potential for application in food. Due to its nutritional valuable and

antioxidant properties, purple yam (*Dioscorea trifida*) has a wide variety of applications and can be explored in terms of its bioactive components.

Keywords: purple-card, *Dioscorea trifida*, anthocyanins and *Dioscorea*, thermodynamic properties and purple-card, *Refractance Window*

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estudos desenvolvidos com o gênero <i>Dioscorea</i> spp.....	22
Tabela 2. Valores do coeficiente de secagem e fator de atraso obtido para secagem da pasta <i>Dioscorea trifida</i> por RW.....	46
Tabela 3. Valores calculados dos parâmetros de transferência de massa para secagem da pasta <i>Dioscorea trifida</i> por RW.....	47
Tabela 4. Valores de difusividade e coeficiente de transferência de umidade para a secagem da pasta <i>Dioscorea trifida</i> por RW.....	48
Tabela 5. Propriedades termodinâmicas obtidas por secagem da pasta <i>Dioscorea trifida</i> por RW.	50
Tabela 6. Caracterização físico-química de cará-roxo desidratado por <i>Refractance Window</i> .51	
Tabela 7. Resultados da densidade aparente, de compactação e fluidez de amostras de cará-roxo desidratadas em <i>Refractance Window</i>	53
Tabela 8. Parâmetros de cor	54
Tabela 9. Índice de Absorção de Água (IAA), Solubilidade e Capacidade de Absorção de óleo (CAO) do cará-roxo desidratado por RW em diferentes temperaturas.....	55
Tabela 10. Compostos fenólicos totais (CFT), antocianinas totais (AT) e atividade antioxidante (AA) do <i>Dioscorea trifida</i>	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição Geográfica de Produção de <i>Dioscorea trifida</i> no Brasil (Estados).....	19
Figura 2. Tubérculos e planta de <i>Dioscorea trifida</i> em diferentes colorações.....	20
Figura 3. Estrutura das antocianinas.....	28
Figura 4. Antocianinas mais encontradas em alimentos.....	29
Figura 5. Curvas representativas de secagem (a) e taxa de secagem (b)	31
Figura 6. Representação de equipamento <i>Refractance Window</i> laboratorial.....	35
Figura 7. Conteúdo de umidade adimensional experimental e previsto de <i>Dioscorea trifida</i>	46
Figura 8. Relação entre difusividade da umidade (D_m) e temperatura	49
Figura 9. Imagens da microscopia eletrônica de varredura (MEV) da amostra em pó de <i>Dioscorea trifida</i>	56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 GERAL.....	17
2.2 ESPECÍFICOS.....	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 CARÁ-ROXO (<i>Dioscorea trifida</i>).....	18
3.2 COMPOSTOS BIOATIVOS	23
3.2.1 Compostos fenólicos	24
3.2.2 Antocianinas	27
3.3 PROCESSOS DE SECAGEM	30
3.3.1 Secagem	30
3.3.2 Liofilização	33
3.3.3 Refractance Window	34
4 MATERIAL E MÉTODOS	37
4.1 PREPARO DE AMOSTRA	37
4.2 PROCESSOS DE SECAGEM	37
4.2.1 Refractance Window	37
4.2.2 Liofilização	37
4.3 PARÂMETROS DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA.....	38
4.4 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	40
4.4.1 Composição centesimal	40
4.4.2 Densidade aparente	40
4.4.3 Análise granulométrica	41
4.4.4 Ângulo de Repouso	41
4.4.4 Parâmetros de cor	42
4.5 PROPRIEDADES FUNCIONAIS DO PÓ	42
4.5.1 Capacidade de absorção de óleo	42
4.5.2 Índice de absorção em água	42
4.5.3 Índice de solubilidade	43
4.6 MORFOLOGIA DO PÓ	43
4.7 COMPOSTOS BIOATIVOS	43
4.7.1 Capacidade antioxidante	43

4.7.2	Compostos fenólicos totais.....	43
4.7.3	Conteúdo de antocianinas total.....	44
4.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1	PARÂMETROS DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA.....	45
5.2	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	50
5.3	PROPRIEDADES FUNCIONAIS DO PÓ DE <i>Dioscorea Trifida</i>	54
5.4	COMPOSTOS BIOATIVOS EM <i>Dioscorea Trifida</i>	56
6	CONCLUSÃO	58
	REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

Na Amazônia muitas plantas alimentícias nativas, como o cará (*Dioscorea spp*), são importantes para a soberania alimentar e, ainda, oferecem elevado potencial nutricional e propriedades medicinais para a população regional. O cará-roxo (*Dioscorea trifida*) é um tubérculo originário da região das Américas, distribuído principalmente nas regiões tropicais e subtropicais do mundo, e popularmente conhecido como “inhame” (FALADE; AYETIGBO, 2014; ANDRES; ADEOLUWA; BHULLAR, 2017). Os *Dioscorea trifida* são tubérculos que contém quantidade substancial de amido, vitaminas, minerais, além do alto teor de umidade (OLIVEIRA et al., 2007; RAMOS-ESCUADERO et al., 2010; CORNAGO et al., 2011; PÉREZ et al., 2011). Além disso, o cará-roxo contém uma expressiva quantidade de substâncias mucilagenosas cuja capacidade antioxidante é elevada, além disso, possui compostos bioativos como antocianinas e compostos fenólicos.

No Brasil, nas regiões Norte/Nordeste, são cultivadas as seguintes espécies do gênero *Dioscorea*: *Dioscorea alata*, *D. bulbifera*, *D. cayenensis*, *D. dodecaneura*, *D. dumetorum* e *D. rotundata*, *D. trifida* (domesticada pelos indígenas nas áreas limítrofes entre o Brasil e as Guianas). Segundo a FAO, em 2018, a produção de inhame no Brasil foi de aproximadamente 251.000 toneladas, sendo considerado um dos maiores produtores de inhame da América do Sul. O cultivo de inhame é reconhecido como a quarta cultura de tubérculos mais importante depois da batata, mandioca e batata doce, contribuindo com cerca de 10 % da produção total de raízes e tubérculos em todo o mundo, além de serem relatados como 7ª maior concentração de antioxidantes entre 11 raízes e culturas de tubérculos (HALVORSEN et al. 2002; PADHAN; PANDA, 2020).

Tradicionalmente, os tubérculos de *Dioscorea trifida* têm seu consumo restrito a agricultura familiar e a feiras locais. Essa espécie é única por seus valores alimentares, medicinais e econômicos. Contudo, ainda há poucas evidências científicas que fortalecem essa premissa. Alguns estudos já mostram o potencial do cará-roxo como ingrediente de vários alimentos, por exemplo: pães, biscoitos, sopas cremosas, recheios de bolo, e ainda empregado na produção de filmes biodegradáveis e extração de amido. Também algumas espécies de inhame são comumente utilizadas em preparações farmacêuticas devido aos seus constituintes bioativos (TEIXEIRA et al., 2013; TECHEIRA et al., 2014; PADHAN; NAYAK; PANDA, 2020). Entretanto, são poucos os estudos que caracterizem os compostos bioativos do cará-roxo gênero *Dioscorea spp.*, bem como os métodos que visam conservar esses compostos.

No processo de extração de compostos bioativos, uma etapa importante para uma matriz sólida é a secagem. Ela tem como função a redução da atividade de água do alimento, prolongando a sua vida de útil e permitindo melhores condições de armazenamento, transporte e consumo. Para garantir a maior retenção de nutrientes e compostos de interesse/bioativos, a escolha do tipo de secagem e o equipamento são muito relevantes. Desse modo, o processo de desidratação depende das características da matriz alimentar, mas também devem ser consideradas as particularidades de cada equipamento, bem como ao resultado final esperado no produto (BRASILEIRO, 1999; DE GOUVEIA et al., 2003).

Os secadores mais comuns para pastas e suspensões são liofizador, *spray dryer* e *Refractance Window* (JITTANIT et al., 2011; MUZAFFAR, KUMAR, 2015). A secagem em *Refractance Window* tem sido destacada em alguns estudos como uma alternativa mais viável economicamente, por ser uma técnica prática de fácil manuseio, mais barata e que resulta em produtos com alto valor agregado (ABONYI et al., 2001; NINDO; POWERS, TANG, 2007; OCHOA-MARTÍNEZ et al., 2011).

Aliado a isto, vale ressaltar a complexidade que envolve o processo de secagem, no que diz respeito aos fenômenos simultâneos de transferência de calor e massa que contribuem para a remoção da umidade. Portanto, é necessário um conhecimento aprofundado da cinética de secagem e dos parâmetros de transferência de calor e massa considerando as particularidades para cada projeto, simulação e otimização do processo de secagem que será executando usando modelagem matemática (DA SILVA; SILVA, GAMA, 2014; MORAIS; GUT, 2015; QIU et al., 2018).

Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da secagem em *Refractance Window* sobre os compostos bioativos do cará-roxo, verificar o potencial tecnológico após a secagem do tubérculo por meio de análises físico-químicas, tecnológicas, capacidade antioxidante e microscopia.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

A pesquisa teve como objetivo avaliar os efeitos da secagem em *Refractance Window* sobre o cará-roxo e verificar o potencial tecnológico do cará-roxo após a secagem.

2.2 ESPECÍFICOS

- Determinar os parâmetros de transferência de massa e propriedades termodinâmicas de cará-roxo, pela aplicação da técnica de secagem em *Refractance Window* em diferentes temperaturas;
- Obter um produto desidratado a partir da secagem de cará roxo em RW;
- Comparar o produto desidratado em RW com o produto seco em liofilizador;
- Avaliar os efeitos da secagem por *Refractance Window*TM nas propriedades físico-químicas, bioativas e microestruturais do cará-roxo (*Dioscorea trifida*) em pó”.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CARÁ-ROXO (*Dioscorea trifida*)

O gênero *Dioscorea* é o maior e mais importante da família Dioscoreaceae, com aproximadamente 644 espécies cultivadas em regiões tropicais e subtropicais do mundo (GOVAERTS et al., 2007). Internacionalmente, esses tubérculos são conhecidos como “cará” ou “inhame” e apresentam alto valor nutricional e medicinal, além de sua importância para as indústrias alimentícia e farmacêutica. O preparo e consumo deste tubérculo estão associados às características de cada espécie e às tradições locais, sendo considerada uma alternativa a outros tubérculos como as batatas (ANDRES; ADEOLUWA; BHULLAR, 2017).

Segundo a FAO, em 2018, a produção mundial de inhame foi estimada em aproximadamente 68 milhões de toneladas, das quais aproximadamente 96 % foram cultivadas no continente africano, tendo a Nigéria como maior produtor (92 %). O cará é o terceiro mais importante tubérculo tropical na África Ocidental, América Central, Ilhas do Pacífico e Sudeste Asiático, após a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz.) e a batata doce (*Ipomoea batatas* L. Lam.). Na África, apesar de ter havido um declínio em sua produção com relação à produção da mandioca e do arroz, é considerado ainda um alimento básico preferido pela população. O Brasil foi o segundo maior produtor com produção aproximada de 251.000 toneladas perdendo apenas para as 422 mil toneladas produzidas pela Colômbia em 2018.

Em relação à espécie *Dioscorea trifida*, no Brasil, não há relatos de produção, sabe-se, no entanto, que os tubérculos desta espécie são produzidos principalmente nas regiões Amazônica e Nordeste do país. A espécie apresenta relevância na economia regional e importância para a soberania alimentar e a saúde, possuindo alto valor nutricional e propriedades medicinais (RAMOS-ESCUADERO et al., 2010; TEIXEIRA et al., 2013).

Apenas dez espécies do gênero são consideradas importantes na nutrição humana (LEBOT, 2009) e somente as espécies *D. alata* L., *C. cayenensis* Lam, *D. rotundata* Poir, *D. bulbifera* L. e *D. trifida* L. são cultivadas e consumidas (PEDRALLI, 1988; BRESSAN et al., 2005; VEASEY et al., 2010; SIQUEIRA et al., 2014; NASCIMENTO et al., 2015). A espécie *Dioscorea trifida* teve sua origem na América Central e Sul (ABRAMO 1990; CAGNON et al. 2002; CARVALHO; TEIXEIRA; BORGES, 2009). No Brasil, há relatos de que a origem e distribuição geográfica de *D. trifida* é na Amazônia, estendendo-se até a região sudeste, incluindo 130 espécies de *Dioscorea*, único gênero da família presente em todas as regiões do país (CÁUPER; CÁUPER; BRITO, 2006; KIRIZAWA et al., 2010; CASTRO et al., 2012). A espécie está associada aos ambientes de florestas pluviais tropicais de terra firme amazônica,

floresta atlântica do sudeste do Brasil, florestas mesófilas (estacionais) e florestas de galeria (Figura 1).

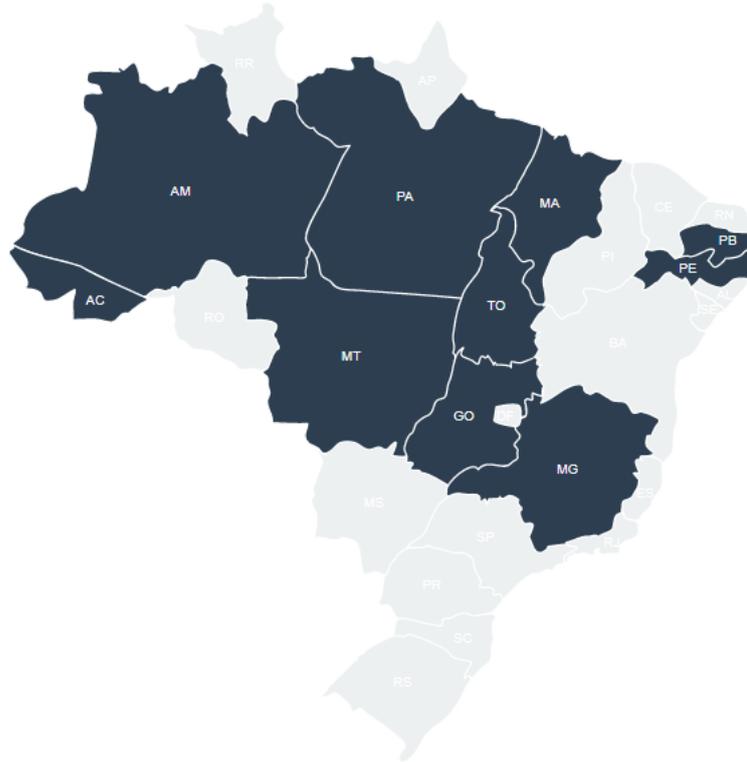


Figura 1. Distribuição Geográfica de Produção de *Dioscorea trifida* no Brasil (Estados)

Fonte: *Dioscorea trifida*. Ficha de Espécies do Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBR).

As características da planta mudam de acordo com a variedade cultivada. O ciclo de crescimento varia de 8 a 36 meses, dependendo da espécie (LEBOT, 2008). Aqueles do gênero *Dioscorea* são geralmente dióicos, ou seja, possuem apenas flores masculinas ou apenas flores femininas (SANTOS; MACEDO, 2006). Em geral, a planta é apresentada como uma videira, com tubérculos aéreos e tubérculos subterrâneos (HATA et al., 2003). Sendo que os tubérculos subterrâneos são a parte útil usada tanto para consumo ou como meios de propagação para novas culturas (Figura 2) (CABRERA et al., 2008; MERCADO et al., 2015).

Dioscorea trifida é uma planta trepadeira de caule volumoso e fino, que se enrola para a esquerda no sentido anti-horário, e que tem duas ou mais alas membranosas, geralmente em maior número na parte inferior do caule. Possui folhas pecioladas (pecíolos angulosos, que variam até 15 cm de comprimento), alternadas, às vezes opostas com três a cinco lobos de forma acuminados ou oval-agudos, formas e tamanhos diversos, mais ou menos pilosas nas duas faces (CASTRO et al., 2012).

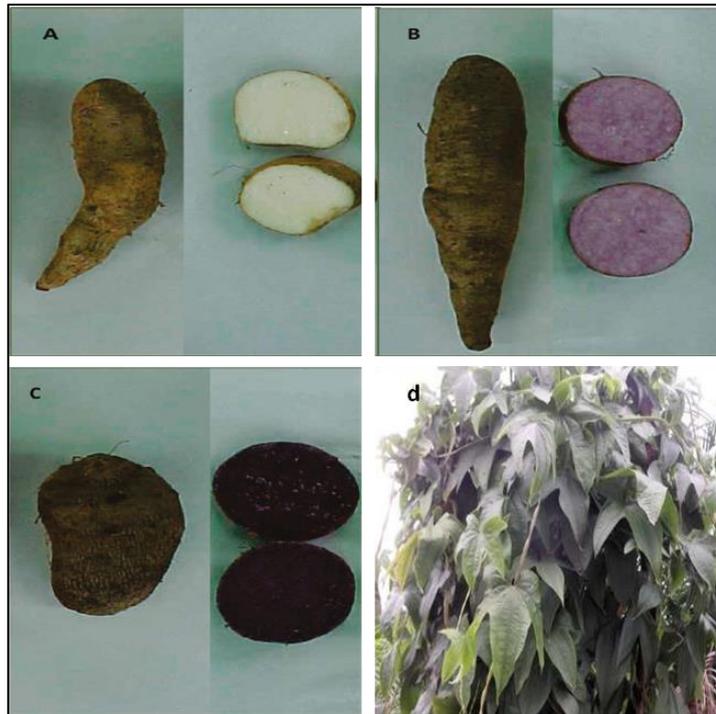


Figura 2. Tubérculos e planta de *Dioscorea trifida* em diferentes colorações.

Aspectos externos e internos (seção transversal) de tubérculos de *Dioscorea trifida*: (a) branco amazônico, (b) roxo claro da Amazônia e (c) roxo escuro amazônico - Fonte: PÉREZ et al., 2011. Planta *Dioscorea trifida* (d) – Fonte: DE LIMA SILVAA et al. Guia etnobotânico de plantas em comunidades Desano (Tukano-oriental) no rio Tiquié-Brasil.

A espécie *Dioscorea trifida* possui tubérculos subterrâneos com formas ovoides, cilíndricas, arredondadas ou diversificadas, que variam entre 10 a mais de 30 cm de comprimento, e com massas frescas entre 50 a 4.500 g e coloração da polpa roxa, branca ou amarela (Figura 2). Características essas que os colocam em categoria e classificações diferentes a partir da percepção dos consumidores (CASTRO et al., 2012).

A produtividade do cará-roxo resulta da sua alta adaptabilidade às condições climáticas das regiões brasileiras, por isso representa uma boa alternativa de sustento e cultivo para o homem. Sua composição química apresenta compostos ativos (compostos fenólicos, antocianinas, mucilagens), carboidratos, proteínas (1 a 4%) e fibras (7 a 8%), baixo teor de gordura, vitaminas do complexo B (tiamina e niacina), minerais (potássio, magnésio, fósforo, sódio, ferro, boro e manganês) (OLIVEIRA et al., 2002; SANTOS, 2002; PACHECO-DELAHAYE; TECHEIRA; GARCÍA, 2008).

Quanto à diversidade, a espécie *Dioscorea trifida* é ainda pouco estudada. Nascimento et al. (2013) verificaram a ocorrência de *Dioscorea trifida* no Brasil e obtiveram informações a respeito da sua distribuição, manejo e diversidade. Os autores observaram através de descritores

morfológicos vários nomes populares e os caracteres referentes aos tubérculos, como cor da casca e da polpa e não encontraram estudos científicos aprofundados sobre a diversidade morfológica de variedades locais de *Dioscorea trifida* na Amazônia. Fato este que poderia incentivar a propagação e cultivo destes tubérculos.

Na medicina chinesa, os tubérculos de *Dioscorea spp.* são utilizados para fins medicinais, pois auxiliam na redução do nível de glicose no sangue, no tratamento de artrite reumatoide, dor de estômago (cólica), distúrbios menstruais e esquistossomose. A capacidade do cará para uso industrial ainda não foi bem explorada, no entanto, pesquisas reportam esse tubérculo como fonte de amido para fins industriais, produção de filmes biodegradáveis, produção de farinhas para formulações alimentícias, extração de compostos ativos, como a diosgenina e compostos antioxidantes, como as antocianinas.

Diversos estudos têm demonstrado o potencial dos tubérculos do gênero *Dioscorea spp.* (Tabela 1). Mollica et al. (2013), ao estudarem a espécie *Dioscorea trifida* L., observaram sua atividade anti-inflamatória e comprovaram que os tubérculos dessa espécie reduziram os parâmetros inflamatórios associados a alergias alimentares e têm potencial para prevenção e tratamento dessa doença. Chiu et al. (2013) observaram que a espécie *Dioscorea japônica* também contribui na prevenção ou tratamento de doenças inflamatórias crônicas. Techeira et al. (2014) avaliaram as propriedades físico-químicas, funcionais e nutricionais de farinhas à base de *Dioscorea alata* e obtiveram características físico-químicas desejáveis.

Dey e Chaudhuri (2014) avaliaram as potencialidades imunomoduladoras do extrato hidro-metanólico da espécie *Dioscorea alata* e concluíram que há um potencial para a atividade imunomoduladora dos tubérculos. Estudos mais recentes com espécies do gênero analisaram o potencial para extração de polissacarídeos e atividade antioxidante (ZHAO et al., 2017). Outros estudos apontam a utilização de farinha de cará-roxo para produção de snacks, macarrão e filmes biodegradáveis (NWAFOR et al., 2020; LOBATO et al., 2020).

Outra característica interessante do cará-roxo é uma quantidade significativa de mucilagem (FARAHNAKY et al., 2013). Essas mucilagens exibem propriedades reológicas, como espessantes, gelificantes e estabilizadores, em uma ampla gama de alimentos e produtos farmacêuticos (FEDENIUK; BILIADERIS, 1994; PHILLIPS; WILLIAMS, 2000). Ma et al. (2017) ao estudarem as propriedades químicas e emulsificantes da mucilagem de *Dioscorea opposita* Thunb mostraram rendimento de extração em torno de 8 %. Hou, Hsu e Lee (2002), relatam que a mucilagem do tubérculo de inhame exibe atividade antioxidante relevante. Contado et al. (2009) demonstrou que pão de forma à base de mucilagem de cará (*Dioscorea*

spp.) apresentou boa aceitabilidade pelo público quanto aos atributos sensoriais de sabor, aroma e textura, demonstrando que o uso desse tubérculo pode ser viável como melhorador na fabricação de pães. Nenhum estudo relatou sobre a mucliagem de cará-roxo (*Dioscorea trifida*).

Tabela 1. Estudos desenvolvidos com o gênero *Dioscorea* spp.

Autor (Ano)	Espécie	Estudo
Contado et al. (2009)	<i>Dioscorea sp.</i>	Mucilagem incorporada à formulação de pães Efeitos da mucilagem nas propriedades térmicas e de pasta de amidos
Huang et al. (2010)	<i>Dioscorea alata</i>	
Pérez et al. (2011)	<i>Dioscorea Trifida</i>	Propriedades físico-químicas de amido
Wang et al. (2011)	<i>Dioscorea Opposita</i> Thunb	Propriedades físico-químicas de amido
Jiang et al. (2012)	<i>Dioscorea L.</i>	Caracterização de amidos isolados de cinco espécies
Pérez et al. (2012)	<i>Dioscorea Trifida</i>	amidos modificados Propriedades físico-químicas e digestão in vitro de amido
Jiang et al. (2013)	<i>Dioscorea spp.</i>	
Zhang et al. (2012)	<i>Dioscorea Zingiberensin</i>	Isolamento de amido e efeitos do ultrassom
Pérez et al. (2013)	<i>Dioscorea sp.</i>	Propriedades estrutural e funcional de amido Análise química de impressão digital e determinação quantitativa de compostos esteróides de <i>Dioscorea villosa</i> espécies de <i>Dioscorea</i> e suplementos dietéticos usando UHPLC-ELSD
Avula et al. (2013)	<i>Dioscorea sp.</i>	
Falade e Ayetigbo (2014)	<i>Dioscorea sp.</i>	Propriedades físicas e funcionais de amido
Otegbayo, Oguniyane e Akinwumi (2014)	<i>Dioscorea sp</i>	Caracterização físico-química, funcional e potencial em aplicações industriais. Propriedades estruturais e mecânicas de filme a base de amido de inhame
Gutiérrez et al. (2015)	<i>Dioscorea Trifida</i>	
Vashisht, Pandey e Kumar (2015)	<i>Dioscorea de Jharkhand</i>	Propriedades físico-químicas e de liberação de amidos carboximetilados Avaliação da atividade antiinflamatória e padronização do extrato de hidrometanol de tubérculo subterrâneo de <i>Dioscorea alata</i>
Dey et al. (2016)	<i>Dioscorea alata</i>	
Hornung et al. (2017)	Dioscoreaceas	Propriedades funcionais de amidos
Sharlina et al. (2017)	<i>Dioscorea Pyrifolia</i>	Extração e caracterização de amido
Ahmadu et al. (2018)	<i>Dioscorea Rotundata</i>	Extração e caracterização de amido
Lafont-Mendoza et al. (2018)	<i>Dioscorea trifida</i>	Avaliação dos métodos de quantificação do amido de <i>Musa paradisiaca</i> , <i>Manihot esculenta</i> e <i>Dioscorea trifida</i> por meio de experimentos fatoriais
Beyerlein et al. (2019)	<i>Dioscorea trifida</i>	Fenologia floral, germinação de sementes e plantas híbridas do inhame ameríndio (<i>Dioscorea trifida</i>)

Salehi et al. (2019)	<i>Dioscorea</i>	Plantas de <i>Dioscorea</i> : um gênero rico em <i>Vital Nutra-Pharmaceuticals</i> - A Review
Lobato et al. (2019)	<i>Dioscorea trifida</i> L. f.	Desenvolvimento e caracterização de biodegradáveis filmes de inhame fermentado (<i>Dioscorea trifida</i> L. f.) Efeitos dos vários tratamentos de secagem em características moleculares e propriedades físico-químicas de amido de inhame
Duan et al. (2020)	<i>Dioscorea spp.</i>	Preparação e caracterização de filmes comestíveis compostos por mucilagem e amido
Wang et al. (2020)	<i>Dioscorea opposita</i> Thunb	Composição bioquímica e valor nutricional do tubérculo fresco de inhame na Indonésia
Fauziah, Hapsari e Nurfadilah (2020)	<i>Dioscorea alata</i>	Potencial antioxidante natural de inhame selvagem subutilizado selecionado (<i>Dioscorea spp.</i>) para benefício de saúde
Padhan, Nayak e Panda (2020)	<i>Dioscorea spp.</i>	Propriedades nutricionais, antinutricionais e físico-funcionais de alimentos silvestres tubérculos de inhame de Koraput, Índia
Padhan, Biswas e Panda (2020)	<i>Dioscorea spp</i>	Desenvolvimento de filmes biodegradáveis à base de amido de inhame roxo / quitosana para aplicação em alimentos
Costa et al. (2020)	<i>Dioscorea trifida</i>	Cultura de tecidos e sequenciamento de última geração: uma abordagem combinada para a detecção de inhame (<i>Dioscorea spp.</i>) vírus
Bömer et al. (2019)	<i>Dioscorea spp</i>	Pirodextrinização de amido de inhame (<i>Dioscorea sp.</i>) Isolado de tubérculos cultivados no Brasil e caracterização físico-química de pirodextrinas amarelas
Lovera et al. (2020)	<i>Dioscorea sp</i>	

3.2 COMPOSTOS BIOATIVOS

Os compostos bioativos são definidos como compostos que protegem as células contra os efeitos danosos de radicais livres oxigenados e nitrogenados. Esses radicais livres são formados durante o processo respiratório e causam danos ao organismo, aceleram o processo de envelhecimento e contribuem para o aparecimento de diversas doenças (inflamações, tumores malignos, mal de Alzheimer e doenças cardiovasculares) (SIKORA et al., 2008). Devido a isso, as células humanas dependem de certa capacidade antioxidante para fornecer proteção contra os efeitos prejudiciais de radicais livres e espécies reativas do oxigênio (SILVA et al., 2010). Para alcançar uma proteção eficiente, os tecidos dispõem de um sistema antioxidante integrado, que consiste de um arranjo de diversos componentes lipossolúveis

(vitamina E; carotenoides), hidrossolúveis (ácido ascórbico; glutathiona) e enzimáticos (glutathiona peroxidase; superóxido dismutase; catalase) (McLEAN et al., 2005).

As substâncias antioxidantes funcionam por diferentes mecanismos, sendo classificadas em duas categorias principais: antioxidantes primários e secundários. Os compostos primários demonstram ação antioxidante capaz de inibir ou retardar a oxidação por inativação de radicais livres, graças à doação de átomos de hidrogênio ou de elétrons, o que transforma os radicais em substâncias estáveis. Enquanto os antioxidantes secundários apresentam uma grande variedade de modos de ação: ligação de íons metálicos (alteração de valência); inativação de espécies reativas de oxigênio (ERO), conversão de hidroperóxidos em espécies não-radicalares ou absorção de radiação UV (MAISUTHISAKUL; SUTTAJIT; PONGSAWATMANIT, 2007; SILVA et al., 2010).

Nos vegetais, essa classificação abrange também dois tipos de metabólitos: primários e secundários. Os metabólitos primários respondem pela sobrevivência do vegetal, exercendo função ativa nos processos de fotossíntese, respiração e assimilação de nutrientes. Por sua vez, os metabólitos secundários estão intimamente associados a estratégias de defesa das plantas (NASS, 2007; SILVA et al., 2010). Os principais metabólitos secundários são distribuídos em três grupos, de acordo com sua rota biossintética: terpenos, compostos fenólicos e compostos contendo nitrogênio (TAYZ; ZEIGER, 2004).

No que diz respeito ao gênero *Dioscorea* spp., algumas espécies são comumente utilizadas em preparações farmacêuticas devido aos seus constituintes bioativos, tais como alcalóides, taninos, flavonóides, saponinas, esteróides glicosídeos, antraquinonas e polifenóis. Podem-se destacar propriedades farmacológicas como a inibição de atividades de proliferação celular, antifúngica, propriedades anticâncer e hepato-protetoras. Embora se conheça a importância econômica e consumo popular destes tubérculos, o conhecimento a cerca dos constituintes antioxidantes ainda é pouco estudado (BHANDARI; KAWABATA, 2004; CORNAGO et al., 201; PADHAN; NAYAK; PANDA, 2020).

3.2.1 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos são originados do metabolismo secundário das plantas e são essenciais para o seu crescimento e reprodução. Além disso, formam-se em condições de estresse como, infecções, ferimentos, radiações UV, dentre outros (NACZK; SHAHIDI, 2004). Mais de 8000 moléculas diferentes já foram identificadas e estão agrupadas em classes, de acordo com a estrutura química: os flavonóides (antocianinas) e não flavonóides (FERRERA et al., 2016).

Quimicamente, os compostos fenólicos apresentam anéis aromáticos com um ou mais substituintes hidroxílicos, incluindo seus grupos funcionais. Possuem estruturas variáveis e, conseqüentemente, multifuncionais, formas simples ou de polímeros, que lhes confere o poder antioxidante. Esses compostos podem ser naturais ou sintéticos e são encontrados nos vegetais nas formas livres ou complexados a açúcares (glicosídeos) e proteínas (ANGELO; JORGE, 2007; SHAHIDI; NACZK, 1995; BRAVO, 1998).

Os compostos fenólicos compõem a grande classe dos fitoquímicos alimentares (SUCUPIRA et al., 2012). A ação antioxidante dos compostos fenólicos é devido à capacidade de doar hidrogênio ou elétrons, como também pela presença de radicais intermediários estáveis, que impedem a oxidação de vários componentes do alimento, como os lipídeos (SILVA et al., 2010). A capacidade dessas substâncias em sequestrar radicais livres e metais pró-oxidantes justifica, em parte, a correlação entre a ingestão de compostos fenólicos e a redução do risco de doenças cardiovasculares, câncer e outras doenças crônico-degenerativas (KANG et al., 2010; PARK et al., 2013).

Os compostos fenólicos estão amplamente distribuídos entre as plantas, porém são mais difundidos em frutas, hortaliças e seus derivados, tais como: azeite de oliva, vinho tinto, chá, cerveja, entre outros. Em cereais e leguminosas também são encontrados em concentrações consideráveis (ANGELO; JORGE, 2007; SUCUPIRA et al., 2012; CARNEVALLI; ARAÚJO, 2015; SOETHE; MATTOS, STEFFENS, 2017).

Pesquisas reportam que a família Discoraceae apresenta quantidades consideráveis de substâncias biologicamente ativas, tais como: polifenóis, saponinas (JAYACHANDRAN et al., 2016), flavonoides e alcaloides (KAYODE et al., 2017). Zhang et al. (2018) isolaram e identificaram compostos fenólicos de inhame roxo chinês (*Dioscorea alata*) por HPLC e avaliaram ainda a atividade antioxidante desses compostos. Estes autores detectaram mais de 200 compostos fenólicos, dentre eles ácido vanílico, dois conjuntos de ácidos hidroxicinâmicos (ácido cafeico 1 e p-cumárico) e ainda dois tipos de antocianinas (quercetina desidratada-6 e kaempferol-7), confirmaram o potencial antioxidante destes compostos com atividade biológica elevada.

Extratos de cará mostraram ter atividade antioxidante, têm potencial em modificar níveis de lipídeos séricos em humanos, possuem atividade imunomoduladora *in vitro* e atividades anti-hipertensivas em ratos. Ramos-Escudero et al. (2010), avaliaram a atividade anti-inflamatória e efeitos antitumorais em espécies diferentes de *Dioscorea* associados à presença de outros fitoquímicos, como esteroides, saponinas (diosgenina), polifenóis, na

maioria das vezes flavonoides de flavan-3-ol e subclasses de flavonol, assim como as antocianinas. Hsu et al. (2004), demonstraram a presença de antioxidantes em farinha de cará-roxo (*Diocorea purpurea*) em cinco formulações de pães preparados com farinha desse tubérculo, com ótima aceitabilidade em supermercados de Taiwan.

Outros autores ao estudarem o potencial antioxidante natural de inhame selvagem subutilizado (*Dioscorea* spp.) concluíram que as espécies de inhame selvagem (*Dioscorea bulbifera* e *Dioscorea pubera*) continham quantidades significativamente maiores de compostos bioativos sobre as outras espécies de *Dioscorea* estudadas, e mostraram também maior atividade de eliminação de radicais livres (PADHAN; NAYAK; PANDA, 2020).

Nas últimas décadas, tem se observado o crescente interesse nos compostos fenólicos devido à sua capacidade para quelar os radicais livres. Diante disso, aplicações desses compostos, impulsionadas por suas características químicas, levou a identificação de uma grande diversidade de compostos, bem como o desenvolvimento de métodos dedicados à identificação precisa e a quantificação de tais compostos em várias matrizes. Os avanços em instrumentação analítica e técnicas nos últimos anos têm permitido estabelecer propriedades químicas e funcionais de compostos individuais presentes na natureza de matrizes vegetais, contemplando assim aplicações tecnológicas aprimoradas (MACHADO; DOMINGUEZ-PERLES, 2017).

Para a quantificação de compostos fenólicos, existem metodologias que determinam compostos fenólicos totais, ou um grupo ou classe desses compostos (SUCUPIRA et al., 2012). As análises de quantificação podem ser divididas em análises espectrofotométricas e cromatográficas. As análises espectrofotométricas baseiam-se em diversos princípios e podem ser empregadas para quantificação de vários grupos estruturais. A análise que emprega o reagente de Folin-Denis foi uma das primeiras a ser utilizada e foi sofrendo modificações ao longo do tempo, utilizando-se, atualmente, o reagente de Folin-Ciocalteu (SINGLETON; ROSSI, 1965).

As análises cromatográficas, por sua vez, incluem a cromatografia gasosa (CG) e cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) que são técnicas utilizadas para a separação e quantificação de compostos fenólicos (SHAHIDI; NACZK, 1995). As técnicas com CG e CLAE, algumas vezes estão associadas à espectrometria de massas para uma maior elucidação de estruturas detectadas, dentre elas ácidos fenólicos, isoflavonas, aldeídos fenólicos e monômeros de taninos condensados (MARÇO; POPPI; SCARMINIO, 2008).

As características químicas dos compostos fenólicos permitem prever uma infinidade de usos e aplicações tecnológicas nas indústrias agroalimentares. Suas principais funções abrangem o uso de compostos antimicrobianos, eliminadores de radicais e potenciadores do estado físico e as características sensoriais no desenvolvimento de novos produtos alimentícios "naturais", em substituição aos sintéticos. Outro destaque para o potencial de polifenóis naturais é no desenvolvimento de embalagens ativas para preservação de alimentos. Por exemplo, ácido ferúlico e seus derivados da casca de cevada nos filmes de embalagem de alimentos demonstrou uma extensão da vida útil da carne de salmão, reduzindo a hidrólise lipídica e aumentando a estabilidade oxidativa e prazo de validade (PEREIRA DE ABREU et al., 2010).

Existem ainda estudos que avaliaram o potencial de pós de matrizes vegetais que podem ser dissolvidos em água ou solvente de grau alimentício, sendo adequado para ser adicionado em óleos e gorduras (como em carnes cruas ou produtos cárneos) com o objetivo de aumentar sua ação antioxidante e evitar a degradação de cores do produto alimentício. Desta forma, os alimentos fabricados à base de carne cozida, aves e frutos do mar, que sofrem alterações nos sabores quando aquecidos, descolorações e degenerações de proteínas; produtos de panificação, cereais, salgadinhos, nozes e produtos de nozes, devido à sua longa vida útil; emulsões de óleo em água (maionese, molhos para salada, sopas e molhos) e emulsões de água em óleo (margarina e pasta de gordura) são exemplos de produtos que poderiam recuperar benefícios relativos às propriedades físico-químicas e sensoriais, se incorporassem compostos antioxidantes em sua formulação (SENANAYAKE, 2013).

3.2.2 Antocianinas

As antocianinas pertencem ao grupo dos flavonoides e representam um papel significativo na saúde humana, sendo pigmentos responsáveis pelas inúmeras tonalidades de cores encontradas em flores, frutas e folhas, com variações do vermelho ao azul (GU et al., 2019). As antocianinas são o mais importante grupo de pigmentos hidrossolúveis de origem vegetal depois das clorofilas (HARBORNE; GRAYER, 1988).

Possui como estrutura química básica um núcleo básico flavílio (cátion 2-fenilbenzopirílio) constituído por dois anéis aromáticos unidos por uma unidade de três carbonos e condensado por um oxigênio. A molécula de antocianina é constituída por duas ou três porções: uma aglicona (antocianidina), um grupo de açúcares e, frequentemente, um grupo de ácidos orgânicos (MAZZA, 1995; WROLSTAD et al., 2005; LOPES et al., 2007). Antocianidinas livres são incomuns em condições naturais e existem, sobretudo, na forma de

glicosídeos, que aumentam a estabilidade e a solubilidade em água das antocianinas (JAAKOLA et al., 2013).

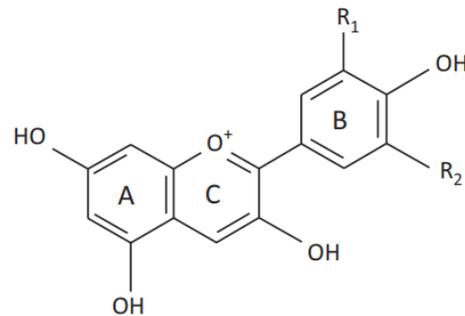


Figura 3. Estrutura das antocianinas.

Fonte: Jaakola et al. (2013).

As antocianinas são utilizadas para produzir corantes alimentares naturais. Nas plantas, são importantes substâncias protetoras auxiliando na resistência diante de baixas temperaturas, ao estresse de radiação, proteção à luz, mecanismo de defesa (ataques de animais polinizadores de sementes) e, também, participam no processo de fotossíntese (STINTZING; CARLE, 2004; GU et al., 2019). Na saúde humana, exercem funções de antioxidantes naturais que desempenham ação anticancerígena e antiinflamatória, bem como contribuem para melhorar o valor nutritivo dos alimentos, prevenindo a oxidação lipídica e proteica (DEL RE e JORGE, 2012).

O principal interesse das antocianinas na tecnologia de alimentos é referente a coloração adequada e desejada (FRANCIS, 1989; WROLSTAD et al., 2005; DEGÁSPARI e WASZCZYNSKYJ, 2004). A cor é um parâmetro de grande relevância para a aceitabilidade de produtos alimentícios, visto que está relacionado ao sabor e à qualidade geral de um produto e a satisfação e atração do consumidor. Em torno disso, os consumidores têm buscado alimentos que contenham componentes mais naturais ao invés dos pigmentos sintéticos. Neste contexto, as antocianinas são polifenóis amplamente utilizados como doadores de cores que são extraídos principalmente de subprodutos vegetais (como bagaço de uva ou banana, flores, entre outros), sendo aplicado primeiramente pela indústria alimentícia, desde a descrição do composto até às características de cor da antocianina que deram origem à sua comercialização na Itália desde 1879. Seu uso como pigmentos na indústria de alimentos foi estudado nos últimos 50 anos para evitar o uso de pigmentos sintéticos, principalmente por questões de segurança (JACKMAN et al., 1987).

Embora a aplicação de antocianinas como pigmentos naturais constitua uma alternativa quanto aos aditivos sintéticos, devem-se levar em consideração os aspectos que podem interferir

no uso deste composto pela indústria. Tal como a estabilidade, que é afetada pela estrutura química e concentração, luz, enzimas endógenas ou adicionadas, temperatura, pH, copigmentos, oxigênio, ácido ascórbico, íons metálicos, açúcares e seus produtos de degradação, proteínas e dióxido de enxofre (LOPES et al., 2007). A coloração das antocianinas é influenciada pela substituição dos grupos hidroxila e metoxila na molécula. Incrementos no número de grupos hidroxila tendem a tornar a coloração azulada. Na direção contrária, incrementos no número de grupos metoxilas aumentam a intensidade do vermelho (LÓPEZ et al., 2000). Desde modo, a degradação das antocianinas pode ocorrer durante sua extração, processamento de alimentos e armazenamento devido à sua sensibilidade às condições físico-químicas (GIUSTI; WROLSTAD, 2003).

Diversas antocianinas já foram identificadas em diferentes frutas e hortaliças. Nas plantas que fazem parte da alimentação, as antocianinas se encontram difundidas, no mínimo em 27 famílias, 73 gêneros e em uma grande variedade de espécies. Os compostos mais encontrados em alimentos são cianidina, pelargonidina, delphinidina, malvidina, peonidina e petunidina (BRIDLE; TIMBERLAKE, 1997; LOPES et al., 2007).

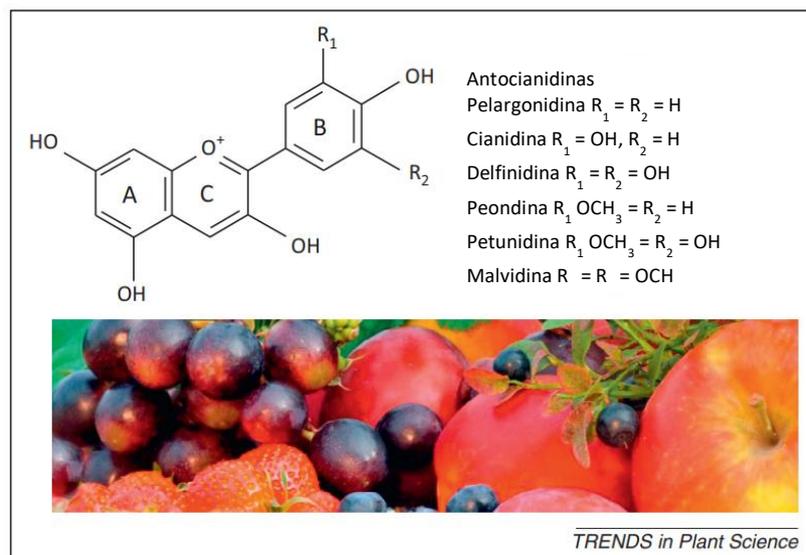


Figura 4. Antocianinas mais encontradas em alimentos.

Fonte: Adaptado Jaakola et al. (2013)

Para a determinação do teor de antocianinas, são utilizadas análises espectrofotométricas e cromatográficas. As análises espectrofotométricas baseiam-se no comportamento espectral desta classe de flavonóides em função do pH (FULEKI; FRANCIS, 1968). Os métodos de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) são os mais utilizados

para separar e identificar as antocianinas, pois é a forma mais rápida e eficiente de separação de misturas complexas de antocianinas.

Os primeiros trabalhos publicados com determinação e identificação de antocianinas, em espécies do gênero *Dioscorea*, foram nos anos de 1960 - 1970 (RAMOS-ESCUADERO et al., 2010). Yoshida, Kondo e Goto (1991), isolaram a primeira antocianina de inhame roxo (*Dioscorea alata*) em soluções aquosas naturais, a alatanina C, sendo altamente estável devido ao empilhamento intramolecular do ácido sinápico e à auto-associação quiral do núcleo da antocianina. Shoyama et al. (1990) isolaram duas antocianinas na espécie *Dioscorea alata*, a cianidina e peonidina 3-gentiobioside, aciladas com ácido sinápico, foram identificadas por método espectrofotométrico. Ramos-Escudero et al. (2010) detectaram por cromatografia líquida de alta performance acoplada a espectrometria de massa, doze pigmentos antocianínicos nos tubérculos de *Dioscorea trifida*, sendo a peonidina 3-O-p-coumaroilglucosídeo-5-O-glicosídeo, a antocianina majoritária.

Em outro estudo com a espécie *Dioscorea alata*, os autores mostraram resultados promissores com a extração de antocianinas do inhame roxo da Colômbia usando ultrassom e comparando a métodos convencionais. Quando o processo de extração por ultrassom foi realizado a 30 °C por 10 min com uma amplitude de 60% e proporção etanol-água de 80:20, foi possível obter uma maior concentração de antocianinas e um extrato com menos compostos indesejáveis (OCHOA et al., 2020).

3.3 PROCESSOS DE SECAGEM

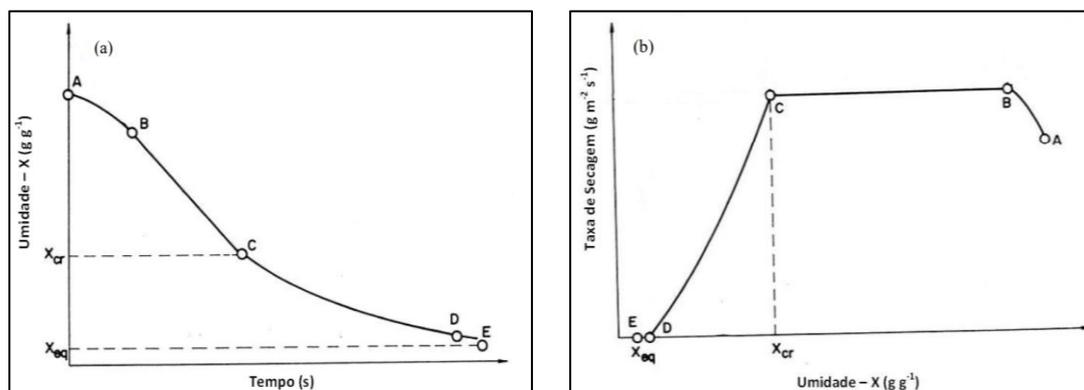
3.3.1 Secagem

A secagem é o processo mais utilizado para assegurar a qualidade e estabilidade de produtos agrícolas após sua colheita, pois favorece a preservação eficiente, em longo prazo, dos vegetais, bem como oferece possibilidades de desenvolvimento de ingredientes e novos produtos para os consumidores (MOSES et al., 2014). Nos últimos anos, avanços na tecnologia estão associados à secagem industrial de alimentos, incluindo pré-tratamentos, técnicas e equipamentos (DOYMAZ, 2014). A secagem é um processo que envolve a transferência simultânea de calor e massa, requerendo controle adequado dos fatores envolvidos, onde há remoção de água do produto fresco, atingindo um nível em que a deterioração microbiana e reações químicas são evitadas (VEGA-MERCADO et al., 2001; CALÍN-SÁNCHEZ et al., 2014).

Os métodos de desidratação constituem a aplicação de calor sob condições controladas para remover a maior parte da água presente em um alimento. A transferência de calor é definida como a energia transferida em virtude da diferença ou gradiente de temperatura. No sentido vetorial, flui, a partir de regiões de temperatura mais elevada para as de temperatura mais baixa. Essa transferência de calor acontece por meio de mecanismos básicos de condução, convecção e radiação (JANGAM; MUJUMDAR, 2010). A transferência de calor ocorre durante a evaporação da água removida da amostra, enquanto que a transferência de massa acontece durante a remoção da água da superfície desta amostra por meio, geralmente, de uma corrente de ar (DINCER; DOST, 1995).

Considerando a secagem convectiva de um sólido úmido devido ao escoamento de ar aquecido, com temperatura e concentração de água conhecidos, a curva típica de evolução da secagem pode ser representada pelas Figura 5, onde são apresentadas a cinética de secagem (umidade da amostra vs. tempo de secagem) e a taxa de secagem em função da umidade da amostra, respectivamente (PERISOTTO, 2016).

Figura 5. Curvas representativas de secagem (a) e taxa de secagem (b)



Fonte: Perisotto, 2016.

Em conjunto com o comportamento do teor de água ao longo da secagem, as propriedades termodinâmicas fornecem informações para compreensão e avaliação de condições para projetar equipamentos de secagem, estudar as propriedades da água adsorvida, calcular a energia requerida neste processo e, ainda, avaliar a microestrutura e o estudo dos fenômenos físicos que ocorrem na superfície dos alimentos (OLIVEIRA et al., 2019). Para tanto, faz-se necessário ainda compreender a aplicação de métodos de análise da termodinâmica, transferência de calor e massa, psicrometria, meios porosos, ciência dos materiais, e às vezes

cinética química. A secagem é um processo transitório, portanto, a mudança da taxa de remoção de umidade deve ser considerada (COSTA et al., 2016; ALMEIDA et al., 2020).

Algumas propriedades termodinâmicas são utilizadas na análise do comportamento da secagem em sistemas biológicos que incluem, por exemplo: entalpia, entropia e a energia livre de Gibbs. As mudanças de entalpia fornecem uma medida da variação de energia, quando há interação das moléculas de água com os constituintes do produto, durante os processos de secagem. A entropia pode estar associada à ligação ou repulsão das forças no sistema e ao arranjo espacial da relação água-produto. Assim, a entropia caracteriza, ou define o grau de ordem ou desordem existente no sistema água-produto. A energia livre de Gibbs avalia a afinidade entre o produto e a água, podendo indicar se a saída de água do produto, durante o processo de secagem, é espontânea ou não. Quando positiva, indica a não espontaneidade do processo e, quando negativa, indica que o fenômeno ocorre espontaneamente (ARAÚJO et al., 2017).

Há ainda a utilização dos modelos matemáticos para simular a secagem de alimentos é uma das alternativas adotadas para minimizar os danos e custos envolvidos na operação de secagem, bem como a descrição matemática da evolução da cinética de secagem em diferentes tipos de equipamentos e amostras (KAJIYAMA; PARK, 2008; ARAÚJO et al., 2017; BALZARINI et al., 2018). Os modelos matemáticos podem ser divididos em teórico, semi teórico, empírico e modelos formalizados na termodinâmica dos processos irreversíveis. Os modelos teóricos consideram as transferências de calor e massa na interface produto e ar de secagem e no interior do produto, sendo que, quando a resistência convectiva é desprezível comparando-se com a resistência difusiva, é possível considerar transferências somente no interior do produto (difusão). Enquanto que, os modelos semi teóricos consideram somente a resistência externa à temperatura e a umidade relativa do ar (FARIA et al., 2012; KENENI et al., 2019).

A cinética de secagem de produtos biológicos em grande parte é descrita por modelos matemáticos teóricos e semi teóricos. Os métodos de secagem têm por vantagem a conservação do alimento que reflete diretamente na vida de útil do produto seco ou desidratado, e por meio da redução da atividade de água, do peso e volume, também permite a economia das embalagens, quanto ao tamanho e quantidade, além da facilidade no transporte e estocagem dos mesmos (SOUZA et al., 2011). Por outro lado, uma desvantagem do processo de secagem está relacionada à necessidade de energia na indústria de manufatura, que corresponde por aproximadamente 12-20% do consumo (RAGHAVAN et al. 2005). Por isso, novas técnicas de secagem, bem como otimizações nos processos devem ser incentivadas.

Como resultado das secagens podem ser observados produtos em pó, flakes e filmes, os quais foram obtidos a partir de matérias-primas agrícolas, por processos de fragmentação e separação. Estes podem ser utilizados como produtos alimentícios intermediários na elaboração de alimentos, ou serem comercializados diretamente para os consumidores (CUQ et al., 2011). Os termos secos e desidratados não são sinônimos, de acordo com o Departamento de Agricultura dos EUA, alimentos desidratados são aqueles que contêm até 2,5% de água (base seca), enquanto alimentos secos aplicam-se a qualquer produto alimentício com mais de 2,5% de água (base seca) (VEGA-MERCADO et al., 2001).

Segundo Yamaguishi (2008), a escolha do método de secagem depende das características físicas (viscosidade e tamanho do sólido) e químicas (sensibilidade térmica e predisposição à oxidação) do alimento a ser desidratado ou seco. Mesmo diante do desenvolvimento de vários métodos de secagem comerciais, não é possível o fornecimento de produtos de alta qualidade por um baixo custo. Cada método tem as suas implicações quanto ao consumo de energia e à qualidade dos produtos acabados (ABONYI; TANG e EDWARDS, 1999).

Associado a isso, o aumento da demanda pela introdução de alimentos em pó tem motivado pesquisadores e indústrias a desenvolverem e aplicarem novas tecnologias de secagem, que preservem a parte nutricional dos alimentos, com baixos custos e tempos de operação. Destacam-se a atomização (*spray drying*), *drum drying*, liofilização e, mais recentemente, o *refractance window* (RW) que, por sua vez, tem conquistado o espaço nas pesquisas (ZOTARELLI; LAURINDO, 2014).

3.3.2 Liofilização

A liofilização ou *freeze drying* é um processo de secagem a baixa temperatura, onde a maior parte da água é removida por sublimação (KOROISHI et al., 2009). O equipamento liofilizador é formado basicamente por uma câmara de vácuo, onde se introduz o alimento, uma fonte de calor, um condensador e uma bomba de vácuo (ORDEÑEZ, 2005). O procedimento de secagem inclui algumas etapas: congelamento, que reduz rapidamente o produto abaixo de sua temperatura de congelamento para maximizar o conteúdo de gelo; secagem primária, onde a sublimação de gelo, a uma temperatura abaixo de zero e sob pressão reduzida (abaixo do ponto triplo); e a etapa da secagem secundária, em que ocorre a remoção de água não congelada e ligada por evaporação a uma temperatura acima de 0 °C. O vapor de água, removido da câmara do produto por uma bomba de vácuo, é direcionado para um condensador, onde é retido congelado (PAVAN; FENG, 2010). Após a desidratação, o alimento retirado do equipamento

deve ser imediatamente embalado para evitar adsorção da umidade do ambiente (VODOVOLTZ; BOURLAND, 2002; ORDEÑEZ, 2005).

A liofilização é amplamente utilizada para obter alta qualidade de frutas e legumes desidratados de alto valor (HUANG et al. 2009). Dentre as vantagens do método, em relação aos outros secadores de alimentos, observa-se a preservação de características nutritivas e sensoriais, altas taxas de reidratação, alta porosidade e produtos com um mínimo de encolhimento, sendo este considerado um padrão muito bom para a desidratação de alimentos (OCHOA-MARTINEZ et al., 2012; ZOTARELLI et al., 2015). Contudo, apesar da alta qualidade, o liofilizador é um equipamento de custo elevado, rendimento relativamente baixo, velocidade de desidratação é mais lenta se comparada a outros secadores como o *Spray Dryer* e *Refractance Window*.

O alto consumo de energia durante a liofilização é um grande problema que limita sua ampla aplicação (ZHANG et al., 2006; WOJDYLO et al., 2013). Dessa forma, o processo é geralmente empregado para alimentos muito sensíveis ou produtos de alto valor (SABLANI et al., 2007). Em consequência, a procura por um método alternativo de secagem, com parâmetros de qualidade comparáveis aos do material liofilizado, é de grande interesse. Como a secagem do *Refractance Window*® (RW) que é um processo de secagem desenvolvido pela MCD Technologies (Tacoma, Washington, EUA), o qual vem sendo estudado há alguns anos e tem ganhado espaço com seus resultados promissores em alimentos (NINDO et al., 2003).

3.3.3 Refractance Window

A secagem em *Refractance Window*TM (RW) utiliza um filme plástico para facilitar a transferência de calor para o aquecimento de alimentos sólidos e líquidos. A circulação de água em pressão atmosférica transporta energia térmica para o material a ser desidratado, de forma que o calor não utilizado é reciclado pelo próprio sistema. Atua em temperaturas muito próximas da ebulição da água, geralmente a 95-98 °C, para secar uma fina camada de material através da condução, convecção e radiação (NINDO; TANG, 2007; CAPARINO et al., 2012).

O uso de água quente para transferir energia térmica dessa maneira, é único para a secagem em RW. O rápido processo da circulação de água aumenta o coeficiente de transferência de calor no lado água-plástico, enquanto um influxo controlado de ar frio sobre o produto esgota a água evaporada (NINDO; POWERS e TANG, 2007). Com isso, o RW é capaz de preservar características como cor e aroma dos produtos finais, com elevada qualidade sensorial. Além disso, a água é continuamente reaquecida, melhorando, desse modo, a eficiência térmica do sistema. Para a secagem de uma quantidade semelhante de produto, o

custo de um equipamento de RW é cerca de um terço do custo de um liofilizador, e seu consumo de energia é inferior à metade (NINDO, 2008; CASTOLDI, 2012; OCHOA-MARTÍNEZ et al., 2012).

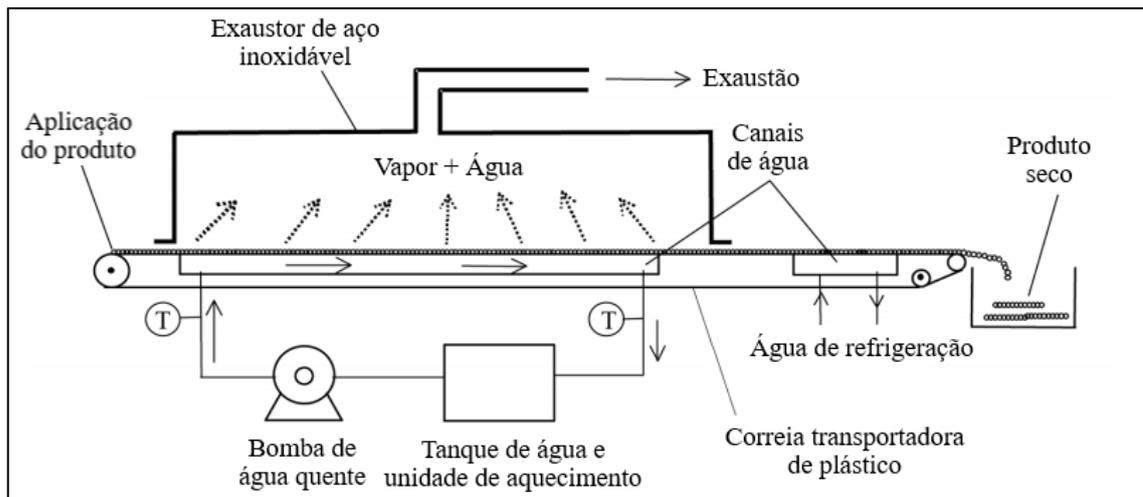


Figura 6. Representação de equipamento *Refractance Window* laboratorial.

Fonte: adaptado de Abony et al. (2002).

Outras vantagens incluem boa retenção de vitaminas, compostos antioxidantes e sensoriais. Estudos com frutas e vegetais como manga (CAPARINO et al., 2012; ZOTARELLI, CARCIOFI, LAURINDO, 2015), kiwi (JAFARI et al., 2016), haskap Berry (CELLI et al., 2016), páprica (TOPUZ et al., 2011), sucos de frutas (NINDO; POWERS e TANG, 2007), açaí (PAVAN; SCHMIDT, FENG, 2012), pupunha e tucupi (COSTA et al., 2019) confirmaram a eficiência do *Refractance Window* quando comparado a outros secadores como o liofilizador e *spray dryer*. Sendo assim, o RW tem sido considerado uma alternativa satisfatória aos processos de liofilização, *spray drying* e secagem por tambor (NINDO et al., 2003; EVRANUS, 2011).

Outros autores também estudaram os efeitos da secagem de diferentes matérias primas em RW, tais como, secagem de filés de peixe (LAND; RAES, 2019) e produção de iogurte em pó (TONTUL et al., 2018). Franco et al. (2019), estudaram os efeitos da secagem por RW sobre as mudanças na textura, cor e difusividade de salmão, carne e fatias de maçã. Utilizaram temperaturas de 55 e 95 °C, e observaram que não houve mudanças significativas na transferência de massa do salmão e da carne. Por outro lado, as fatias de maçã tiveram um aumento significativo na transferência de massa, bem como o processo permitiu uma diminuição de 50 % do tempo de secagem quando comparado ao secador convencional.

Kaspar et al. (2012) avaliaram a a retenção de compostos bioativos após a secagem em batatas roxas e como espereado, observaram que o processo de secagem diminuiu os compostos bioativos nas batatas e que o liofilizador foi menos destrutivo. Contudo, o método Refractance Window foi destaque como método de processamento econômico para maximizar a retenção de compostos bioativos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 PREPARO DE AMOSTRA

Os tubérculos de *Dioscorea trifida* (DT) foram adquiridos no mercado local de Belém do Pará (Brasil) e transportados no mesmo dia para o laboratório. Os tubérculos de DT foram higienizados com solução clorada a 200 ppm. A casca (pericarpo) foi separada do mesocarpo manualmente usando faca. O mesocarpo foi lavado, cortado em pedaços de aproximadamente 1x1 cm e homogeneizado em um multiprocessador de alimentos (WALITA, RI 3148 SP, Brasil), até a obtenção de uma pasta homogênea e armazenada a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ até a secagem em RW.

4.2 PROCESSOS DE SECAGEM

4.2.1 Refractance Window

Para a secagem por RW, foi construído um secador em escala laboratorial operado em batelada usando o mesmo princípio descrito por Castoldi et al. (2015), com algumas modificações. Os principais componentes do secador incluíam um recipiente metálico (0,9 m x 0,15 m x 0,10 m) onde circula água aquecida proveniente de um banho termostático (Quimis, Q214M2, Brasil), um controlador digital de temperatura PID (Minipa, MT 1044, Brasil) e um filme mylar de 0,20 mm de espessura (tipo D, DuPont, EUA). O filme mylar foi anexado ao topo do recipiente metálico. As temperaturas de secagem foram 70, 80 e 90 $^{\circ}\text{C}$. Para secagem da amostra de DT a pasta foi espalhada sobre a superfície do filme de Mylar formando uma placa plana com 5g de amostra, tendo lados de 50 mm e espessura de 3.0 mm.

Para análise de dados de transferência de massa foram consideradas a umidade inicial e umidade de equilíbrio determinadas seguindo a metodologia AOAC No. 934.06 (AOAC 1990), utilizando uma estufa a vácuo (Marconi, MA030, Brasil) e uma balança analítica (Shimadzu AY220, Japão) com precisão de $\pm 0,0001\text{ g}$.

4.2.2 Liofilização

A liofilização foi realizada em equipamento laboratorial como padrão em comparação à secagem por Refractance Window. Após processamento, a polpa de cará-roxo foi submetida ao congelamento em bandejas de alumínio e então conduzidas ao processo de liofilização por 48h (CAPARINO et al., 2012). Finalizando o processo de liofilização, as amostras foram armazenadas em temperaturas de congelamento até análises posteriores.

4.3 PARÂMETROS DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA

O processo de difusão de umidade observado durante a operação de secagem é governado pelo mecanismo de difusão. Ao adotar uma série de suposições, por exemplo: (i) As propriedades termofísicas do sólido e do meio de secagem são constantes. (ii) O efeito da transferência de calor na perda de umidade é insignificante. (iii) A difusão de umidade ocorre em uma direção (perpendicular à superfície da amostra). (iv) existem resistências internas e externas finitas à transferência de umidade dentro dos sólidos (referindo-se a $0,1 < Bim < 100$). Sob essas condições, a equação da difusividade transitória da umidade em coordenadas cartesianas e na forma adimensional pode ser escrita como nas equações 1 e 2 (AKPINARA E DINCER, 2005):

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = D \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right) \quad (1)$$

$$\phi = W - W_e \quad (2)$$

Onde ϕ é a diferença do conteúdo de umidade (kg/kg d.b), D é a difusividade da umidade (m^2/s), t é o tempo (s) e y é coordenada espacial e a diferença do teor de umidade (kg / kg d.b), D é a difusividade da umidade (m^2 / s), t é o tempo (s) e y é a coordenada do espaço.

A equação (1) está sujeita às seguintes condições iniciais e de contorno:

$$\phi(y, 0) = \phi_i = (W_i - W_e) = \text{Cte.} \quad (3)$$

$$\left[\frac{\partial \phi}{\partial y} (0, t) \right] = 0 \quad (4)$$

$$-D \left(\frac{\partial \phi}{\partial L} (L, t) \right) = k_m [\phi(L, t) - \phi_o] \quad (5)$$

onde $y = L$ é a meia espessura (m) e k_m é o coeficiente de transferência de umidade, m / s

O teor de umidade adimensional (Φ) pode ser representado em termos de teor de umidade em qualquer ponto do objeto sólido como:

$$\Phi = \frac{W - W_e}{W_i - W_e} \quad (6)$$

A solução da Eq governante. (1) com as condições de contorno produz distribuição de umidade central adimensional para o objeto da amostra (para detalhes, ver Dincer e Dost 1995, 1996):

$$\Phi = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot B_n \quad (7)$$

0,2 forem insignificamente pequenos. Assim, a soma infinita na Eq. (7) é bem aproximado apenas pelo primeiro termo, ou seja (Dincer e Dost, 1995):>A solução acima pode ser simplificada se os valores de Fo

$$\Phi \cong A_1 B_1 \quad (8)$$

onde para a geometria da amostra:

$$A_1 = \exp[0.2533Bi/(1.3 + Bi)] \quad (9)$$

$$B_1 = \exp(-\mu_1^2 Fo) \quad (10)$$

Devido ao fato de a secagem apresentar uma tendência exponencialmente decrescente, foi proposto por Dincer e Dost (1996). A equação 11 para os objetos sujeitos à secagem, introduzindo o fator de atraso (G, sem dimensão) e o coeficiente de secagem (S, 1 / s):

$$\Phi = G \exp(-St) \quad (11)$$

O coeficiente de secagem mostra a capacidade de secagem de um objeto ou produto por unidade de tempo e o fator de atraso é uma indicação da resistência interna de um objeto à transferência de calor e/ou umidade durante a secagem. Esses parâmetros são úteis na avaliação e representação de um processo de secagem. O valor do teor de umidade adimensional pode ser obtido usando as medições experimentais de conteúdo de umidade da Eq. (6)

Ambas as Equações (8) e (11) estão na mesma forma e podem ser comparados entre si por ter $G = A_1$. Portanto, a difusividade da umidade para uma amostra infinita é dada pela equação 12:

$$D_m = \frac{SY^2}{\mu_1^2} \quad (12)$$

Onde μ_1 é uma raiz da solução para a difusividade da umidade fornecida de forma simplificada para a geometria da placa (DINCER; HUSSAIN, 2002):

$$\mu_1 = a \tan(0.640443Bi + 0.380397) \quad (13)$$

Os coeficientes de transferência de umidade (K_m) podem ser obtidos em termos do fator de atraso usado no número Biot (B_i), que é definido como:

$$B_i = \frac{k_m \cdot L}{D_m} \quad (14)$$

A dependência de D_{eff} da temperatura pode ser determinada por uma simples expressão de Arrhenius:

$$D_m = D_o \exp\left(-\frac{E_a}{T_{abs}R}\right) \quad (15)$$

Onde E_a é a energia de ativação da difusão de umidade (kJ / mol), D_0 é o valor de difusividade para o teor infinito de umidade, R representa a constante universal de gás e T_{abs} é a temperatura absoluta. Ao traçar o diagrama $\ln (D_{eff})$ vs. $1 / T_{abs}$, os coeficientes E_a e D_0 podem ser subsequentemente relacionados às condições de secagem do ar por meio de técnicas de análise de regressão não linear.

A determinação das propriedades termodinâmicas do processo de transferência de massa na pasta *Dioscorea trifida* submetida à secagem por RW foi realizada pelo método desenvolvido por Jideani e Mpotokwana (2009):

$$\Delta H = E_a - RT_{abs} \quad (16)$$

$$\Delta S = \left(\ln D_0 - \ln \frac{k_B}{h_P} - \ln T_{abs} \right) \quad (17)$$

$$\Delta G = \Delta H - \Delta S \cdot T_{abs} \quad (19)$$

onde ΔH é a entalpia diferencial, $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$; ΔS é a entropia diferencial, $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; ΔG é a energia livre de Gibbs, $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$; k_B é a constante de Boltzmann, $1,38 \times 10^{-23} \text{J} \cdot \text{K}^{-1}$; e h_P é constante de Planck, $6,626 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}^{-1}$.

4.4 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

4.4.1 Composição centesimal

As análises da composição centesimal da pasta de *Dioscorea trifida* e das amostras em pó foram determinadas de acordo com a AOAC (1997). As análises realizadas foram umidade (método n. 925.10), proteínas (N=6.25; método n. 920.87), cinzas (método n. 923.03), carboidratos por diferença, pH (método n. 981.12), acidez (método n. 942.15) e lipídeos pelo Método de Bligh-Dyer (1959). A análise de atividade de água foi realizada por meio de medida direta, utilizando um termohigrômetro (Aqualab 3TE–Decagon, Pullman, WA), com controle interno de temperatura a 25°C.

4.4.2 Densidade aparente

A densidade aparente foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Saikia et al. (2015), utilizando para análise 1,0 g de amostra em pó de *Dioscorea trifida*, que foi cuidadosamente acondicionado em um cilindro graduado de 10 mL para a medida do volume ocupado pela amostra sem compactação. Para densidade de compactação, a amostra seca de *Dioscorea trifida*, acondicionada no cilindro graduado foi submetida a 50 quedas de uma altura de 3 cm em superfície lisa, sendo posteriormente medido o volume ocupado pela amostra com

compactação. A partir dos resultados das densidades aparente e de compactação para amostra seca de *Dioscorea trifida*, determinou-se o Fator de Hausner (FH) e Índice de Carr (IC) por meio das Equações 20 e 21, respectivamente.

$$FH = \frac{\rho_{CP}}{\rho_{AP}} \quad (20)$$

$$IC = \left(\frac{\rho_{CP} - \rho_{AP}}{\rho_{CP}} \right) \cdot 100 \quad (21)$$

Onde: ρ_{AP} é a densidade aparente g/cm^3 e ρ_{CP} é a densidade de compactação g/cm^3 .

3.4.3 Análise granulométrica

O tamanho das partículas tem grande importância na reconstituição de produtos em pó. A análise granulométrica do pó de *Dioscorea trifida* foi determinada de acordo com o método nº 66-20 descrito na AACCC (2000), utilizando conjunto de peneiras (38, 35, 48, 65, 80 e 100 mesh, com aberturas de malhas de 589, 417, 295, 208, 175 e 147 μm , respectivamente) acopladas a suporte vibratório (modelo D-55743, Fritsch, Alemanha) por 20 minutos. Analisou-se o percentual de pó de cará-roxo em massa retido em cada peneira. A determinação do diâmetro médio foi feita por meio da Equação 23.

$$d_{ps} = \frac{1}{\sum \left(\frac{x_i}{d_i} \right)} \quad (23)$$

Onde x_i é fração de massa retida e d_i é diâmetro médio da abertura das peneiras.

4.4.3 Ângulo de Repouso

A análise do ângulo de repouso tem sido utilizada como método indireto de quantificar a fluidez de um pó em função da sua relação com a coesão entre as partículas. Para essa análise foi usada a metodologia descrita por Bhandari et al. (1998), na qual 15.0 g da amostra seca de *Dioscorea trifida* foram acondicionadas cuidadosamente em um funil metálico que se encontra sobre uma placa de petri a uma altura constante com a base inferior com 59 mm de diâmetro vedada. A abertura inferior do funil foi liberada e as amostras escoram sobre uma placa de petri formando um cone. Determinando então o ângulo formado entre o topo e a base do cone pó formado utilizando a Equação 24.

$$\text{tag}(\theta) = \frac{h}{0.5 \times D} \quad (24)$$

Onde h e D são a altura e o diâmetro do cone formado, respectivamente.

4.4.4 Parâmetros de cor

A avaliação da cor das amostras foi feita por leitura direta de reflectância das coordenadas L^* (luminosidade), a^* (intensidade de vermelho e verde) e b^* (intensidade de amarelo e azul), empregando a escala CIELAB. Os parâmetros de cor foram determinados utilizando um colorímetro (CR-400 KONICA MINOLTA). Os valores de Chroma (C^*), ângulo de intensidade Hue (H^*) foram obtidos usando as Equações (25) e (26).

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (25)$$

$$h^* = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (26)$$

4.5 PROPRIEDADES FUNCIONAIS DO PÓ

4.5.1 Capacidade de absorção de óleo

A capacidade de absorção de óleo foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Falade e Okafor (2015), que consiste em pesar 1g da amostra de *Dioscorea trifida* em tubo Falcon adicionar 10 mL de óleo vegetal, agitar em um agitador de tubos (MR II – Multifunctional Mixer®) por 1 minuto e centrifugar a 1000xg por 20 minutos utilizando uma centrífuga (QUIMIS®). A diferença entre o peso da amostra antes e após a centrifugação foi tomada como a quantidade de óleo absorvida e a capacidade de absorção de óleo foi expressa como a quantidade de óleo absorvida por 100 g de amostra.

4.5.2 Índice de absorção em água

O índice de absorção em água foi determinado de acordo com metodologia descrita por Anderson et al. (1969) com pequenas modificações. Uma suspensão com 2,5 g de amostra e 30 mL de água foi preparada em tubos Falcon, agitada usando agitador de tubos (MR II – Multifunctional Mixer®) por 30 minutos e centrifugada a 1500xg por 10 minutos utilizando uma centrífuga (QUIMIS®). O sobrenadante foi coletado e seco em estufa (Ethik technology®) a 105 °C até atingir peso constante a massa residual do tubo de centrífuga. O índice de absorção em água (IAA) foi determinado usando a Equação 27.

$$IAA = \frac{MRC}{MA} - MRE \quad (27)$$

Onde: MRC é massa do resíduo da centrifugação, g; MA é massa da amostra, g; MRS massa do resíduo seca, g.

4.5.3 Índice de solubilidade

A solubilidade foi determinada conforme método descrito por Cano-Chauca et al. (2005), onde uma suspensão com 1g de amostra e 100 mL de água foi preparada em um Becker encamisado, sendo agitada em diferentes temperaturas (25, 50 e 80 °C) por 5 min. A 2500 rpm usando agitador (MR II – Multifunctional Mixer®). A amostra dispersa foi centrifugada a 3600 rpm por 5 min. Uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi transferida para uma placa de petri previamente pesada e submetida à secagem em estufa a 105 °C até atingir peso constante. A solubilidade foi calculada de acordo com a Equação 28.

$$S = \frac{M_s}{M_A} \times 100 \quad (28)$$

4.6 MORFOLOGIA DO PÓ

A análise morfológica e da superfície dos pós foi realizada em microscópio eletrônico de varredura (MEV) (DSM940A, Zeiss, Oberkochen). Os pós de *Dioscorea trifida* foram depositados sobre fita adesiva dupla face, fixada em suporte metálico. A placa metálica foi recoberta com ouro em metalizadora da marca Emitech, modelo K550X, operando a 15 mm e 250 kV, fornecendo uma cobertura de aproximadamente de 20 a 10 µm, ocorrendo, então, a captura das imagens.

4.7 COMPOSTOS BIOATIVOS

4.7.1 Capacidade antioxidante

A análise da capacidade antioxidante foi determinada por espectrofotometria, de acordo com a metodologia descrita por Re et al. (1999), que se baseia na habilidade dos antioxidantes em capturar o cátion ABTS●+ (2,2'azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid)). O decréscimo da absorbância do radical ABTS●+, no comprimento de onda de 734 nm, foi medido usando espectrofotômetro UV-Visível (2000UV, New Instruments, Brazil). Os resultados foram expressos em termo de µmol Trolox por 100 gramas de amostra.

4.7.2 Compostos fenólicos totais

A quantificação de compostos fenólicos totais foi determinada por espectrofotometria, de acordo com a metodologia descrita por Singleton e Rossi (1965), utilizando-se espectrofotômetro UV-Visível (2000UV, New Instruments, Brazil) com leitura da absorbância

no comprimento de onda de 760 nm. O conteúdo de fenólicos totais foi expresso em miligramas de ácido gálico por 100 g de amostra (mgEAG.100g⁻¹).

4.7.3 Conteúdo de antocianinas total

O conteúdo de antocianina foi determinado por espectrofotometria, de acordo com a metodologia descrita por Fuleki e Francis (1968). A extração das antocianinas das amostras foi realizada com solução EtOH-HCl (etanol 95 % e HCl 1,5 N, na proporção de 85:15 v/v). A leitura da absorbância nos extratos foi efetuada a 520 nm, utilizando-se espectrofotômetro UV-Visível (2000UV, New Instruments, Brazil). O total de antocianinas nas amostras foi expressa em mg/100 g de cianidina-3-galactosídeo.

4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises foram realizadas em triplicata (n = 3). Testes de significância dos resultados foram realizados usando uma análise de variância unidirecional (ANOVA). Os parâmetros do modelo analítico proposto por Dincer e Dost (Eq. 11), equação de Arrhenius (Eq. (15)) foram estimados utilizando o software Statistic for Windows 7.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, EUA). A qualidade de ajuste dos modelos propostos para os dados da cinética de secagem foi estimada por meio do coeficiente de correlação (R²) e do parâmetro Qui-quadrado (x²).

Todas as análises foram realizadas em triplicata (n=3). Os dados experimentais foram expressos em médias e desvio padrão. Os resultados obtidos foram também submetidos à análise de variância fator único com menor diferença significativa em p <0.05 com o auxílio do Statistica® versão 7 (STATSOFT, 2000).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PARÂMETROS DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA

A técnica RW é um sistema de secagem que converte alimentos (como líquidos ou pastas) em flocos, filmes ou pós dentro de um curto espaço de tempo em relação a processos como a liofilização, secagem em tambor e *hot-air drying* (RAGHAVI et al., 2018; DURIGON et al., 2018). A secagem de materiais úmidos é um processo complicado que envolve fenômenos simultâneos de transferência de calor e massa e ocorre dentro do material que está sendo seco (CORZO et al. 2008).

As curvas de secagem obtidas a partir de experimentos de secagem sob condições controladas fornecem informações sobre o mecanismo de transporte de umidade. Neste estudo, os resultados apresentaram conteúdo de umidade inicial da amostra de *Dioscorea trifida* fresca de $77,7 \pm 0,1$ % (b.u.). O conteúdo de umidade do produto seco do inhame *Dioscorea trifida* submetido a três diferentes temperaturas da água (70, 80 e 90 °C), variou de 4,75 a 3,72 % (b.u.). O comportamento do conteúdo de umidade adimensional com o tempo de secagem da amostra de *Dioscorea trifida* para três diferentes temperaturas, bem como os valores estimados para o processo de secagem por RW pelo modelo proposto por Dincer e Dost (Equação 10) são apresentados na Figura 6.

Pode ser visto que a mudança do conteúdo de umidade em diferentes temperaturas de secagem mostrou uma tendência similar, um decréscimo exponencial com o tempo de secagem, sendo acentuado nos 10 minutos iniciais da secagem e reduzindo lentamente com o tempo. Isto significa que, no final da secagem, a influência da temperatura na cinética de secagem é menor do que no início e o transporte de umidade é controlado por fatores internos, ou seja, a natureza do material.

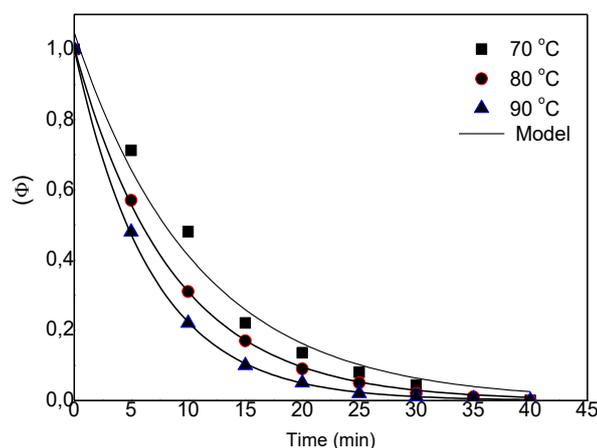


Figura 7. Conteúdo de umidade adimensional experimental e previsto de *Dioscorea trifida*

Os parâmetros G e S, estimados pelo ajuste não - linear do modelo de Dincer and Dost (Eq. 11), aos dados experimentais da cinética de secagem do inhame de *Dioscorea trifida* submetido à secagem por RW, conforme detalhado anteriormente, e os parâmetros estatísticos coeficiente de determinação (R^2) e qui-quadrado (χ^2) são apresentados na Tabela 1. Pode-se notar que os valores de G e S decresceram com o aumento da temperatura. Verificou-se por meio da ANOVA fator único, a existência de efeito significativo e positivo ($p < 0,05$) da temperatura sobre os parâmetros G e S. Comportamentos semelhantes foram também observados por Mrkić et al. (2007) na secagem convectiva de brócolis usando a mesma geometria e por Corzo et al. (2008) durante a secagem convectiva de fatias de manga em diferentes estágios de maturação. Em relação à aplicação do modelo de Dincer and Dost (Eq. 11), os altos coeficientes de determinação ($R^2 > 0,96$) e os baixos valores de qui-quadrado ($\chi^2 < 4,06 \times 10^{-3}$) indicam a adequação do ajuste do modelo aos dados experimentais (Tabela 2).

Tabela 2. Valores do coeficiente de secagem e fator de atraso obtido para secagem da pasta *Dioscorea trifida* por RW.

Condições T(°C)	Coeficientes do Modelo		Parâmetros Estatístico	
	G	S (s ⁻¹)	R ²	χ^2
70	1,061 ± 0.009	0,093 ± 0,002	0,9695	4,06x10 ⁻³
80	1,042± 0.004	0,118± 0,001	0,9995	6,06x10 ⁻⁵
90	1,034± 0.001	0,150± 0,004	0,9998	1,60x10 ⁻⁵

Quanto ao número de Biot (Bi_m), que representa a relação entre a resistência interna e a resistência externa à transferência de massa ($E se, 0,1 < Bi_m < 100$) (Bezerra et al., 2015), pode-se verificar (Tabela 3) que na secagem do inhame *Dioscorea trifida* por RW os valores obtidos de Bi_m variaram entre 0.197 a 0,397, o que indica uma maior importância da resistência interna no fenômeno da transferência de massa frente à resistência externa. Comportamento semelhante também foi observado por Rajoriya, Shewale e Hebbar (2019) na secagem convectiva de fatias de maçã, onde os valores de Bi_m variaram na faixa 0,128 a 0,594. Verificou-se também, por meio da ANOVA fator único, a existência de efeito significativo e positivo ($p < 0,05$) da temperatura sobre Bi_m . Como era esperado, o aumento da temperatura favoreceu a diminuição da resistência interna e provocou uma secagem mais rápida da amostra *Dioscorea trifida* por RW. Isto demonstra do ponto de vista tecnológico uma vantagem do método de secagem por

RW na qualidade final do produto, pois permite boa retenção dos compostos bioativos termossensíveis.

Tabela 3. Valores calculados dos parâmetros de transferência de massa para secagem da pasta *Dioscorea trifida* por RW.

Condições T(°C)	Parâmetros	
	B_{iot}	μ_1
70	0,397 ± 0.066	0,565 ± 0,037
80	0,252 ± 0.017	0,496±0,010
90	0,197 ± 0.040	0,469 ±0,028

Usando os valores de Y , S e ± 1 , a difusividade da umidade (D_m) foi então calculada a partir da Equação 12. Posteriormente, os valores do coeficiente de transferência de umidade (k_m) foram calculados pela Equação 14. Os valores calculados de difusividade (D) e coeficiente de transferência de umidade (k_m) são apresentados na Tabela 3. De acordo com os dados, o valor de D_m foi aumentado à medida que a temperatura aumentou de 70 para 90 °C para a *Dioscorea trifida* seca por RW.

Esse fenômeno está associado à diminuição da viscosidade da água nos capilares da amostra, com o aumento da temperatura. Sendo a viscosidade uma medida da resistência do fluido ao escoamento, sob essas condições provoca-se um aumento da difusão da água na polpa do inhame, favorecendo a secagem (WANG et al., 2014). Além disso, outro fator que pode explicar o aumento do coeficiente de difusão efetivo é que, com a elevação da temperatura, aumenta-se o nível de vibração molecular das moléculas de água, o que também contribui para uma difusão mais rápida.

A magnitude de D_m (Tabela 4) é semelhante à relatada na literatura por vários autores para diferentes materiais alimentares, utilizando diferentes métodos de estimativa, como relatados por Göğüs e Maskan (2006), que encontraram difusividades na faixa de $1,84 \times 10^{-7}$ – $3,94 \times 10^{-7} \text{m}^2\text{s}^{-1}$ para bagaço de azeitona seco entre 60 e 80 °C. Furtado et al. (2010) relataram valores entre $1,99 \times 10^{-7}$ e $4,56 \times 10^{-7} \text{m}^2\text{s}^{-1}$ durante a secagem da polpa de seriguela pelo método de tapete de espuma na faixa de 70 a 80 °C. Guiné et al. (2011) encontraram difusividade na faixa de $4,08 \times 10^{-8}$ a $2,35 \times 10^{-7} \text{m}^2\text{s}^{-1}$ para secagem por convecção de abóbora para temperaturas variando entre 30 °C e 70 °C. Bezerra et al. (2015) encontraram difusividade na faixa de $1,05 \times 10^{-8}$ - $6,32 \times 10^{-7} \text{m}^2\text{s}^{-1}$ na secagem de casca de maracujá na faixa de temperatura

de 50 - 70 °C. A ANOVA unidirecional revelou efeito positivo significativo ($p < 0,05$) da temperatura na difusividade da umidade. Valores do coeficiente de k_m obtidos usando a Equação (14) variaram entre $1,73 \times 10^{-4}$ a $2,02 \times 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$. Os resultados dos k_m encontrados nesta pesquisa estão na faixa dos disponíveis na literatura existente para diferentes alimentos e condições de secagem, como relatado por Arranz et al. (2017) durante a secagem da cenoura para temperatura variando entre 40 a 70 °C e valores de k_m na faixa de $1,20 \times 10^{-6}$ a $6,54 \times 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$.

Bezerra et al. (2015) na secagem de cascas de maracujá na faixa de temperatura de 40 a 60 °C, encontrada k_m na faixa de $4,53$ a $6,062 \times 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$. Mondaca et al. (2013) os valores de k_m variaram de $3,10 \times 10^{-7}$ a $6,05 \times 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$, na secagem de fatias de mamão para uma temperatura de secagem entre 40 e 80 °C. McMinn et al. (2003) para placas de batata submetidas a secagem convectiva, microondas e combinada micro-convectiva na faixa de temperatura de 50 - 70 °C, encontradas k_m na faixa de $0,5 \times 10^{-2}$ a $0,328 \times 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$. O coeficiente de temperatura e o coeficiente de transferência de umidade foi positivo e significativo ($p < 0,05$) variando entre 70 a 90 °C.

Tabela 4. Valores de difusividade e coeficiente de transferência de umidade para a secagem da pasta *Dioscorea trifida* por RW.

Condições T(°C)	Parâmetros	
	$D_m (\text{m}^2\text{s}^{-1})$	$k_m (\text{m s}^{-1})$
70	$6,55 \pm 0,16 \times 10^{-7}$	$1,73 \pm 1,83 \times 10^{-4}$
80	$1,08 \pm 0,014 \times 10^{-6}$	$1,81 \pm 2,01 \times 10^{-4}$
90	$1,53 \pm 0,055 \times 10^{-6}$	$2,02 \pm 0,72 \times 10^{-4}$

A energia de ativação (E_a) foi calculada usando a Equação 15. Os resultados são apresentados na Figura 10. A figura apresenta uma relação linear entre a difusividade da umidade (D_m) e o inverso da temperatura absoluta. A partir da inclinação desta linha, determinou-se um valor de energia de ativação de 44,01 kJ/mol para a secagem da pasta *Dioscorea trifida* por RW. Segundo Xiao et al. (2013), a energia de ativação, para uma operação típica de secagem, varia de 12,7 a 110 kJ/mol. Falade et al. (2007) relataram a energia de ativação na faixa de 41,75 a 72,47 kJ/mol na secagem por convecção de fatias de *Dioscorea alata* e *Dioscorea rotundata*. Yu Ju et al. (2016) relataram exigência de 29,53 kJ/mol para a secagem de *Dioscorea alata*. Srikanth et al. (2019) relataram valores entre 25,18–32,46 kJ/mol durante a secagem dos cubos de *Amorphophallus paeoniifolius*. A dissimilaridade na energia

de ativação pode ser devida à variedade, estágio de maturação, tamanho da amostra, condições operacionais, componentes e estrutura do tecido de *Dioscorea trifida*.

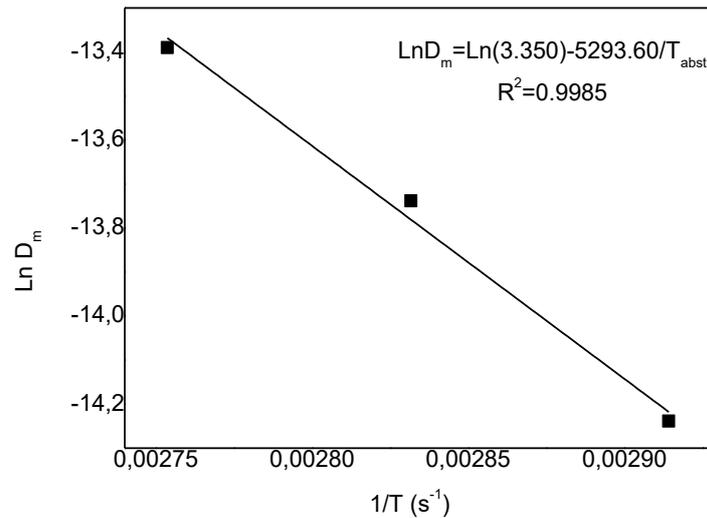


Figura 8. Relação entre difusividade da umidade (D_m) e temperatura

Assim, o efeito da temperatura no D_m na secagem da pasta *Dioscorea trifida* por RW pode ser representado pela equação 20:

$$D_m = 3.35 \exp\left(-\frac{5293.6}{T_{abs}}\right) \quad (20)$$

As propriedades termodinâmicas obtidas na secagem da pasta de *Dioscorea trifida* por RW, nas diferentes temperaturas, estão apresentadas na Tabela 5. Os valores de entalpia (ΔH) foram positivos, apontando para reações endergônicas, isto é, houve necessidade de energia na forma de calor para que o processo ocorresse. Entretanto, essa demanda energética diminuiu de 41,157 para 40,991 kJ.mol⁻¹ à medida que a temperatura de secagem aumentou, comportamento coerente ao reportado por outros trabalhos na secagem de outros produtos agrícolas (BEIGI, 2016; COSTA et al., 2016; FAYOSE, HUAN, 2016; CHAYJAN et al., 2011).

Todos os valores de entropia (ΔS) obtidos (Tabela 5), relacionados à secagem da pasta de *Dioscorea trifida* por RW foram negativos ($\Delta S < 0$), indicando que o processo ocorreu sem aumento significativo da desordem do sistema. Observa-se que os valores de ΔS decresceram com incrementos de temperatura. Essa diminuição de ΔS pode ser associada ao fato de que, quando o produto está sendo desidratado, o teor de umidade diminui e o movimento das moléculas de água se torna mais restrito, pois há poucos sítios disponíveis. Esse comportamento também pode ser associado à formação do complexo ativado, em que uma substância em uma

condição de ativação pode adquirir entropia negativa caso os graus de liberdade de translação ou rotação forem perdidos durante o processo.

Observa-se que ao contrário de ΔH e ΔS , a energia livre de Gibbs (ΔG) aumentou com incrementos de temperatura, com valores passando de 139.489,30 a 150.720,39 J mol⁻¹, para a faixa de temperatura investigada. Os valores positivos da ΔG indicam que a secagem da pasta de *Dioscorea trifida* por RW é um processo não espontâneo, ou seja, requer uma energia adicional do ambiente ao redor do produto para que ocorra a redução do teor de água. Nesse caso, a água aquecida é fonte da energia externa. Comportamento similar foi relatado anteriormente (RAJORIYA; SHEWALE e HEBBAR, 2019).

Tabela 5. Propriedades termodinâmicas obtidas por secagem da pasta *Dioscorea trifida* por RW.

Condições T(°C)	Parâmetros		
	ΔH (kJ.mol ⁻¹)	$\Delta S \times 10^2$ (kJ.mol ⁻¹ .K ⁻¹)	ΔG (kJ.mol ⁻¹)
70	411,571	-23.60x10 ⁻²	412,380
80	410,739	-23.63 x10 ⁻²	411,574
90	409,908	-23.65 x10 ⁻²	410,766

O controle ótimo de um processo de secagem é, portanto, crítico e precisa de informações completas sobre o comportamento dos materiais durante a secagem, o que afirma a necessidade de um modelo preciso, capaz de prever as taxas de remoção de água e descrever o desempenho de secagem de cada produto sob determinadas condições (KHATCHATOURIAN et al., 2013). Essas informações são úteis e podem ser aplicadas na simulação e otimização de processo da secagem da pasta do inhame *Dioscorea trifida* como fonte para obtenção de amido, vitaminas, minerais e compostos bioativos importantes presentes no inhame.

5.2 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

A aquisição de conhecimentos sobre as propriedades físico-químicas de *Dioscorea trifida* permite a avaliação e formas de exploração do tubérculo nas indústrias alimentares. A composição físico-química da pasta de *Dioscorea trifida* e do produto em pó, seco em RW nas diferentes temperaturas encontra-se apresentado na Tabela 6. Verifica-se por meio da ANOVA fator único que todas as amostras em pó de *Dioscorea trifida* apresentaram valores significativamente menores de umidade, a_w e pH, e significativamente maiores teores de

proteínas, lipídeos, cinzas, carboidratos, amido total, acidez e sólidos solúveis ($p < 0,05$) quando comparados com os valores determinados para pasta de *Dioscorea trifida*. Observa-se que o carboidrato é constituinte majoritário em todas as amostras secas de *Dioscorea trifida*, com concentração variando entre 85,66 a 86,47 %, sendo o amido o seu principal componente, com concentração superior a 69,0%. Em relação à atividade de água, a pasta de *Dioscorea trifida* apresentou uma alta atividade de água perto de 1,0 (Tabela 6).

No entanto, todos os pós de cará-roxo resultantes da secagem em RW apresentaram valores de a_w , inferiores a 0,6, o que lhes asseguram estabilidade microbiológica, já que os valores estavam no intervalo de 0,25 a 0,35. É importante ressaltar que a amostra de *Dioscorea trifida* liofilizada apresentou valores de teor de umidade e a_w de 3,4 % e 0,24 respectivamente. Observa-se também (Tabela 6), como esperado, a diminuição no teor de umidade das amostras em pó, com o aumento da temperatura nos níveis utilizados neste estudo. Entretanto, verificou-se por meio da ANOVA fator único, que essa relação se torna nulo ($p > 0,05$) quando se avalia este efeito no intervalo de temperatura de 80 a 90 °C. Sob essa circunstância podemos considerar que a secagem por RW a 70 e 80 °C nos permite obter amostras de *Dioscorea trifida* em pó com boa estabilidade e com baixo custo.

Tabela 6. Caracterização físico-química de cará-roxo desidratado por Refractance Window.

Propriedades físico-químicas (g/100 g-1)	Pasta	Liofilização	RW Temperatura de secagem (°C)		
			70	80	90
Umidade	77,7 ± 0,1	3,4 ± 0,18	4,75 ± 0,09 ^a	4,01 ± 0,14 ^b	3,72 ± 0,50 ^c
Cinzas	2,42 ± 0,03	4,85 ± 0,22	4,12 ± 0,26 ^b	4,43 ± 0,17 ^{ab}	4,61 ± 0,02 ^a
Lipídeos	0,13 ± 0,3	0,30 ± 0,05	0,28 ± 0,02 ^a	0,16 ± 0,07 ^b	0,23 ± 0,03 ^{ab}
Proteínas	1,52 ± 0,23	5,81 ± 0,32	5,19 ± 0,22 ^a	4,93 ± 0,31 ^a	5,25 ± 0,22 ^a
Carboidratos	18,23 ± 0,24	81,75 ± 0,24	85,66 ± 0,23	86,47 ± 0,24	86,19 ± 0,23
Amido total (%)	55,46 ± 0,11	74,11 ± 0,55	69,17 ± 0,79 ^b	74,17 ± 0,29 ^{ab}	76,82 ± 0,52 ^a
Atividade de água	0,99 ± 0,00	0,24 ± 0,01	0,29 ± 0,02 ^a	0,20 ± 0,01 ^b	0,14 ± 0,02 ^c
pH	6,26 ± 0,05	5,51 ± 0,05	5,57 ± 0,02 ^b	5,55 ± 0,04 ^b	5,53 ± 0,02 ^b
Acidez titulável (mL NaOH/100g)	0,24 ± 0,01	0,38 ± 0,01	0,37 ± 0,00 ^a	0,38 ± 0,00 ^a	0,39 ± 0,00 ^a
Sólidos solúveis (°Brix)	0,70 ± 0,21	2,08 ± 0,03	2,03 ± 0,00 ^a	2,07 ± 0,00 ^{ab}	1,87 ± 0,00 ^b

Na linha, médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância. Análises realizadas em triplicata.

A determinação das propriedades físicas de produtos em pó é importante porque além de permitir identificar as características do pó, ajudam intrinsecamente em etapas como

armazenamento, manuseio e processamento. A densidade aparente e a densidade de compactação são características significativas do produto em pó devido a suas razões funcionais e econômicas, as quais dão importância ao seu conhecimento. A densidade aparente dos pós de *Dioscorea trifida* secos por RW (Tabela 7), variaram de 0,625 a 0,696 kg. L⁻¹. Estes resultados foram semelhantes ao descrito por Durigon et al. (2018) para pós de tomate, seco por RW e se encontram dentro da faixa definida por Barbosa-Cánovas et al. (2005) de 0,300 a 0,800 kg. L⁻¹. para alimentos em pó. As densidades de compactação dos pós variaram de 0,755 a 0,843 kg. L⁻¹.

Verificou-se por meio da ANOVA fator único, a existência de efeito significativo ($p < 0,05$), da temperatura sobre ambas as densidades. Em geral, a elevação das temperaturas de secagem resulta em pós com menor densidade, isto porque a baixa densidade está associada ao baixo teor de umidade do material e um aumento de temperatura e reduz o teor de umidade do material a ser desidratado, facilitando a obtenção de pós com menor teor de umidade e menos densos (FAZAELI et al., 2012). No entanto, neste estudo observa-se para a temperatura de secagem de 90 °C um comportamento inverso, ou seja, aumento da densidade aparente e densidade de compactação. Esse efeito pode ser atribuído a gelatinização do amido, presente em grande quantidade nas amostras. No ponto de gelatinização, o amido passa por uma fase de transição de ordem-desordem em que ocorrem a hidratação, a expansão e o rompimento granular levando a um aumento da densidade dos pós.

O índice de Carr (CI) e o Fator de Hausner (HF) são parâmetros que estão relacionados à característica de fluidez e capacidade de empacotamento de pós, respectivamente. Os IC dos pós de cará-roxo secos por RW (Tabela 8) variaram de 0,172 a 0,186. Enquanto que valores do HF variaram de 1,21 a 1,23. Estes resultados indicam que os pós de *Dioscorea trifida* secos em RW nas diferentes temperaturas apresentaram uma excelente fluidez. Observa-se também que tanto os valores do CI como o do HF não apresentaram variações significativas ($p > 0,05$) com o aumento da temperatura. Os valores do ângulo de repouso em relação as diferentes temperaturas são apresentadas na Tabela 7. O ângulo de repouso de todos os pós apresentou valores próximos entre si, e a análise estatística não indicou nenhum efeito significativo das variáveis estudadas ($p > 0,05$). O ângulo de repouso pode ser usado como um indicador de fluidez aproximada. Os pós que exibem ângulos de repouso menores que 45° possuem fluidez livre, enquanto ângulos acima de 50° indicam coesividade muito forte e fluidez muito limitada (FILHO et al.2005). Todas as amostras obtidas nas diferentes temperaturas de secagem por RW apresentaram ângulos menores que 29° o que caracteriza o pó de cará-roxo seco por RW como

um produto que apresenta boa fluidez e baixa coesividade, confirmando comportamento anteriormente identificado pelo HF.

O tamanho médio de partícula (Tabela 7) para amostras de pó de *Dioscorea trifida* produzidas por secagem RW em diferentes temperaturas variou de 290,23 a 407,30 μm . Observa-se que temperaturas de secagem altas resultaram em partículas menores. Isto pode estar relacionado ao teor de umidade e a natureza das amostras. Em geral, materiais ricos em amido à medida que o teor de umidade é reduzido, se tornam mais frágeis e quebradiços, proporcionando assim a obtenção de pequenas partículas. Todavia, é importante salientar que produtos em pó com partículas de tamanho reduzido a área de superfície exposta aos fatores ambientais aumenta e consequentemente, a degradação de compostos sensíveis aumenta. A análise estatística indicou relação significativa entre as variáveis estudadas ($p > 0,05$).

Tabela 7. Resultados da densidade aparente, de compactação, fluidez e diâmetro médio de partículas das amostras de cará-roxo secas em *Refractance Window*.

	Liofilização	RW Temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$)		
		70	80	90
Dens. Aparente (g/cm^3)	0,612 \pm 0,008	0,652 \pm 0,037 ^a	0,625 \pm 0,033 ^a	0,696 \pm 0,029 ^a
Dens. de Compactação (g/cm^3)	0,752 \pm 0,001	0,800 \pm 0,031 ^{ab}	0,755 \pm 0,032 ^b	0,843 \pm 0,037 ^a
Fator de Hausner	1,22 \pm 0,03	1,23 \pm 0,07 ^a	1,21 \pm 0,04 ^a	1,21 \pm 0,03 ^a
Índice de Compressibilidade	0,186 \pm 0,01	0,186 \pm 0,04 ^a	0,172 \pm 0,06 ^a	0,173 \pm 0,02 ^a
Fluidez ($^{\circ}$)	28,56 \pm 0,11	28,43 \pm 0,33	28,62 \pm 0,42	27,99 \pm 0,79
Diâmetro médio de partículas (μm)	300,82 \pm 2,1	407,30 \pm 1,2	295,06 \pm 1,4	290,23 \pm 1,1

Na linha, médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si, de acordo com o Teste de Tukey a 5% de significância. Análises realizadas em triplicata.

Os parâmetros de cor da pasta de *Dioscorea trifida* e do produto em pó, seco por RW nas diferentes temperaturas são mostrados na Tabela 8. A análise estatística mostrou que todos os parâmetros de cor dos pós de cará-roxo produzidos por secagem com RW foram influenciados significativamente pela temperatura de secagem ($p < 0,05$). Os resultados mostram a diminuição de L^* dos pós com o aumento de temperatura, provavelmente causada pela perda de pigmentação das amostras com decomposição de antocianinas devido ao aumento da temperatura. Os resultados mostraram também que os valores de L^* das amostras produzidas por liofilização foram semelhantes à amostra produzida por secagem a RW a 80 $^{\circ}\text{C}$. Foi observado um aumento significativo de C^* no pó produzido por liofilização e secagem por RW

(Tabela 8). Isso ocorre porque a secagem concentra os compostos por remoção de água, resultando em amostras com tonalidade vermelha mais intensa (+a*) e maior saturação (C*). Em relação a parâmetro b* verificou-se um aumento, indicando uma tendência para a tonalidade de cor violeta. Isso é justificado devido à presença de antocianinas que fornecem a coloração entre laranja, vermelho, violeta e azul (WROLSTAD, 2004). Em relação à tonalidade h*(°Hue), observou-se também um aumento desses parâmetros nos pós de cará-roxo produzidos por secagem com RW com aumento da temperatura. O °Hue, que representa a tonalidade de cor, variou entre 7,38 a 11,08, no primeiro quadrante do diagrama de cromaticidade, indicando uma tonalidade de cor entre o violeta e o vermelho.

Tabela 8. Parâmetros de cor de amostras de cará-roxo (*Dioscorea trifida*) em pasta in natura, liofilizadas e secas em RW.

Parâmetros	Pasta	Liofilização	RW Temperatura de secagem (°C)		
			70	80	90
L*	22,37±0,32 ^d	33,59±0,47 ^c	35,97±0,73 ^a	34,52±0,26 ^b	30,45±0,52 ^d
a*	7,41±0,28 ^b	16,80±0,21 ^c	15,76±0,30 ^c	13,34±0,17 ^a	12,88±0,69 ^a
b*	1,41±0,04 ^c	0,25±0,01 ^d	1,87±0,09 ^a	2,14±0,13 ^{a,b}	2,42±0,19 ^b
C*	7,54±0,27 ^b	16,65±0,23 ^a	3,17±0,12 ^c	2,57±0,06 ^d	2,13±0,12 ^e
H °	10,79±0,69 ^a	0,80±0,04 ^e	7,38±0,44 ^b	8,91±0,43 ^c	11,08±0,25 ^a
ΔE	-	14,68±0,73 ^a	15,56±0,38 ^a	13,55±0,25 ^b	9,56±0,27 ^c

Na linha, médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si, de acordo com o Teste de Tukey a 5% de significância. Análises realizadas em triplicata.

5.3 PROPRIEDADES FUNCIONAIS DO PÓ DE *Dioscorea Trifida*

As propriedades funcionais do produto em pó de *Dioscorea trifida*, seco por RW nas diferentes temperaturas de secagem são mostrados na Tabela 10. A análise estatística mostrou que somente os resultados dos parâmetros Capacidade de Absorção de Óleo (CAO) foi influenciada significativamente pela temperatura de secagem (p<0,05). O Índice de Absorção de Água (IAA), que está relacionado aos grupos hidrofílicos (-OH) disponíveis nos grânulos de amido modificados pelo processamento, que podem se ligar às moléculas de água, resultando na formação de gel variou de 3,77 a 4,10 g.(g de matéria seca)⁻¹. Valores semelhantes foram obtidos por Hsu et al. (2003), ao estudarem os efeitos da secagem inhot air-drying a 60 °C por 48 horas, sobre propriedades físicas e funcionais de três tubérculos do gênero *Dioscorea* spp.

(IAA: 3,41 – 4,01 g/g de matéria seca). A solubilidade das amostras em pó em meio aquoso, aumentou significativamente ($p < 0,05$) quando a temperatura do meio foi drasticamente elevada de 25 a 80 °C.

A solubilidade é um parâmetro importante, especialmente para medir o potencial de aplicação na formulação de produtos instantâneos, haja vista, que a solubilidade indica o grau de severidade do tratamento térmico e a consequente desramificação da estrutura das moléculas da amostra. Neste estudo, o ISA variou de 15,57 a 24,69 %. Valores semelhantes foram obtidos por Hsu et al. (2003) ao estudarem os efeitos da secagem in drum-dryer à temperaturas de 95 a 100 °C, sobre propriedades físicas e funcionais de três tubérculos do gênero *Dioscorea* spp. (ISA: 12,30 – 15,31%). Em relação a Índice de Absorção de Óleo (IAO) (Tabela 9), verifica-se que essa propriedade funcional da amostra em pó de *Dioscorea trifida*, seco por RW mostrou-se fortemente dependente da temperatura de secagem. Os valores do IAO obtidos neste estudo foram superiores aos reportados por Kumar et al. (2016), ao avaliar o impacto de várias temperaturas de secagem (50, 60 e 70 °C) in hot air-drying, sobre propriedades físicas e funcionais dos tubérculos em pó do gênero *Amorphophallus paeoniifolius* (IAO: 1,34 – 1,39 %).

Tabela 9. Índice de absorção de água (IAA), solubilidade e capacidade de absorção de óleo (CAO) do cará-roxo seco por RW em diferentes temperaturas.

	Liofilização	RW Temperatura de secagem (°C)		
		70	80	90
IAA (g.g-1)	4,05 ± 0,07	3,77±0,05 ^a	4,12±0,04 ^a	3,95±0,17 ^a
Solubilidade 25 °C	15,12 ± 0,10	16,04±0,90 ^b	15,57±0,032 ^a	15,63±0,037 ^a
Solubilidade 50 °C	18,62 ± 0,21	18,44±0,90 ^b	19,57±1,06 ^a	19,23±0,65 ^a
Solubilidade 80 °C	22,14 ± 0,45	24,69±0,83 ^a	13,71±0,45 ^b	12,87±0,42 ^b
CAO (g.g -1)	52 ± 0,49	53,3±0,49 ^a	32,2±0,49 ^c	37,8±0,48 ^b

Na linha, médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si, de acordo com o Teste de Tukey a 5% de significância. Análises realizadas em triplicata.

Os resultados da microscopia eletrônica de varredura (MEV) das amostras em pó de *Dioscorea trifida* secas em RW e por liofilização são apresentados na Figura 8. Claramente se observa nas imagens de MEV que os pós são compostos por partículas que exibem formas que variaram de grandes a pequenos e ovais a grânulos irregulares e que as partículas exibem superfície relativamente lisa. É possível também identificar nas imagens de SEM a existência um filme depositado sobre as partículas, provavelmente a mucilagem do tubérculo. As imagens revelam também que a secagem por RW não gerou modificações significativas na estrutura das partículas, quando comparadas com a imagem da amostra liofilizada. O que demonstra a

eficiência do método de secagem em preservar as características inerentes ao tubérculo de *Dioscorea trifida*.

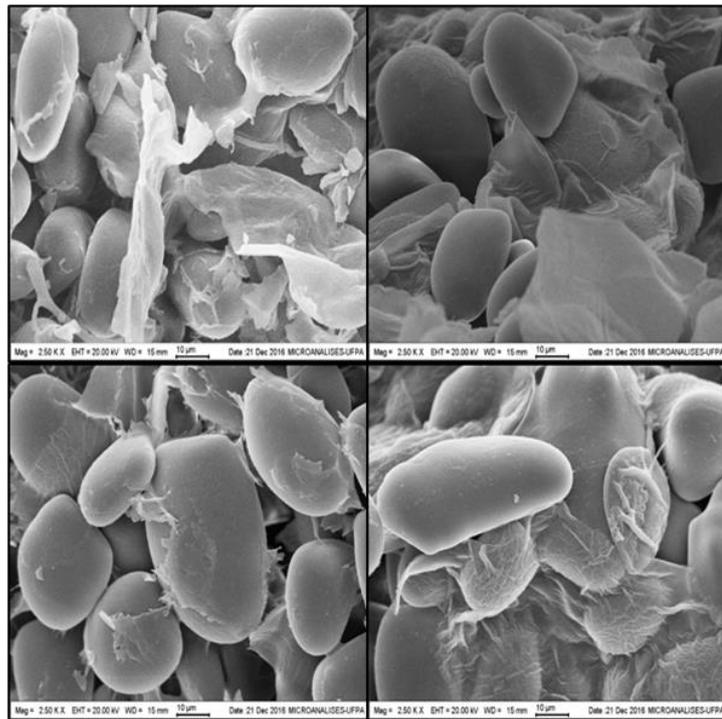


Figura 9. Imagens da microscopia eletrônica de varredura (MEV) da amostra em pó de *Dioscorea trifida*. Amostra liofilizada; (b) amostra RW70°; (c) amostra RW80°; (d) amostra RW90°.

5.4 COMPOSTOS BIOATIVOS EM *Dioscorea Trifida*

Os efeitos do processo de secagem por RW sobre conteúdo de compostos fenólicos totais (CFT), antocianinas totais (AT) e atividade antioxidante (AA) do *Dioscorea trifida* são apresentados na Tabela 10. A amostra em pó obtida por liofilização serviu como amostra controle nessa avaliação.

Em relação ao conteúdo de CFT dos pós de *Dioscorea trifida*, a análise estatística mostrou que o aumento da temperatura de secagem causou um declínio significativo no valor de CFT em todos os pós obtidos na secagem por RW ($p < 0,05$). Notou-se que as taxas de retenção de CFT, quantificada em relação à amostra FD foram de 64,52 % (70 °C), 62,24 % (80 °C) e 36,42 % (90 °C). É possível que além da degradação térmica durante o processo de secagem, outras mudanças químicas/conformacionais tenham ocorrido durante o processo de secagem e que contribuem para a diminuição do conteúdo fenólico, tais como a ativação de oxidases, como, por exemplo, a polifenoloxidase e peroxidase, e conseqüentemente pode ter levado à perda de complexos fenólicos nas amostras secas por RW.

O conteúdo AT nas amostras secas de *Dioscorea trifida* apresentou também uma taxa de decréscimo significativa com o aumento da temperatura de secagem ($p < 0,05$). Para o

conteúdo de AT as taxas de retenção, determinadas em relação à amostra FD foram de 71,75 % (70 °C), 72,15 % (80 °C) e 56,56 % (90 °C). Este comportamento pode ser explicado porque as antocianinas são instáveis na presença de calor suscetível à degradação durante o processo de secagem. Como as antocianinas são uma subcategoria do composto fenólico e estão presentes na polpa de *Dioscorea trifida* as análises de AT indicam que as temperaturas de 70 °C e 80 °C favorecem a obter razoável retenção nutricional das antocianinas na secagem por RW. A atividade antioxidante (AA) dos pós de *Dioscorea trifida*, obtidos por FD e secagem em RW nas diferentes temperaturas, foram avaliadas por meio de um ensaio com radical ABTS (Tabela 10). O pó de *Dioscorea trifida* obtido por FD apresentou atividade antioxidante de 174,52 μmol TE/g d.w. superior ao obtido por Rezende et al. (2018) para a atividade antioxidante dos pós microencapsulados de *Malpighia emarginatae* obtidos por FD (139,69 a 151,19 μmol TE/g d.w.) aplicando o ensaio com radical ABTS. A Tabela 10 mostra que o valor de ABTS foi ligeiramente superior no tratamento a 70 °C do que no tratamento com 80 °C, no entanto, as diferenças não foram estatisticamente significativas ($p > 0,05$). Os pós de *Dioscorea trifida* obtido por RW apresentaram valores de AA, superiores aos obtidos por Carvalho et al. (2017), em pós de *Syzygium cumin* L., seco em leito de espuma (foam mat drying) a 60 °C (12,82 μmol de Trolox/g), 70 °C (13,93 μmol Trolox/g) e 80 °C (13,79 μmol de Trolox/g). Observa também que o valor do ABTS foi significativamente menor no tratamento a 90 °C quando comparados aos valores ABTS dos tratamentos 70 e 80 °C. Sugerindo que o pó de *Dioscorea trifida* a 90 °C apresentou a maior perda de pigmentos e de antioxidantes hidrofílicos. Para o conteúdo de AA as taxas de retenção, determinadas em relação à amostra FD foram de 77,52 % (70 °C), 75,14 % (80 °C) e 70,14 % (90 °C).

Tabela 10. Compostos fenólicos totais (TPC), antocianinas totais (TA) e atividade antioxidante (AA) de *Dioscorea trifida*.

Parâmetros	Pasta	Liofilização	RW Temperatura de secagem (°C)		
			70	80	90
ABTS (μM trolox/g-1)	160,17±3,45	174,52 ± 0,78	135,29 ± 0,32	131,14 ± 5,49	122,41 ± 2,57
Compostos fenólicos (mg EAG/100g-1)	712,09±3,80	513,67 ± 9,49	331,42 ± 5,09	320,73 ± 10,36	187,09 ± 2,39
Antocianinas (mg/100g-1 cianidina-3-galactosideo)	306,9±0,01	281,10 ± 0,01	202,70 ± 0,11	201,80 ± 0,11	159,11 ± 1,01

Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa entre os produtos das secagens. Os valores apresentados são as médias ± desvio padrão. Dados de análise de DPPH, compostos fenólicos e antocianinas estão expressos em base seca.

6 CONCLUSÃO

Os resultados deste trabalho evidenciam que a secagem por RW é uma ferramenta eficaz no processo de secagem de tubérculos, como o inhame *Dioscorea trifida*. O modelo desenvolvido por Dincer e Dost pode ser usado na predição da secagem da pasta *Dioscorea trifida* usando RW, com boa precisão e confiança para calcular os parâmetros de transferência de massa D_m e K_m , dentro de faixas de outros produtos agrícolas e com altos coeficientes de determinação ($R^2 > 0,96$) e os baixos valores de qui-quadrado ($\chi^2 < 4,06 \times 10^{-3}$). As propriedades termodinâmicas na secagem da pasta *Dioscorea trifida* por RW apontaram para um processo não espontâneo, com valores positivos de ΔH e ΔG , e valores negativos de ΔS . Os valores de ΔH e ΔS reduziram com a elevação da temperatura de secagem, enquanto que os valores de ΔG foram ampliados na faixa de temperatura avaliada (70 a 90 °C).

O *Refractance Window* mostrou a habilidade de produzir pós, resultantes da secagem da pasta de cará-roxo, com qualidade alimentícia e boa estabilidade para armazenamento. Apesar das propriedades físico-químicas, funcionais, o teor de compostos bioativos e a atividade antioxidante in vitro do pó de *Dioscorea trifida* ter sido afetada pelas temperaturas de secagem, no geral, a secagem por RW a 70 °C é recomendada para a produção de pó de *Dioscorea trifida* com boas propriedades físico-químicas, funcionais e atividade antioxidante. As propriedades de cor do produto desidratado foram aceitáveis, bem como, razoáveis níveis de retenção de compostos bioativos. Estes resultados são importantes para a produção industrial de *Dioscorea trifida*, aplicando uma tecnologia de baixo custo, com um tempo de secagem relativamente curto, de fácil manuseio e manutenção. Além disso, essas informações são úteis e podem ser aplicadas na simulação e otimização de processo da secagem da pasta do inhame *Dioscorea trifida* como fonte para obtenção de amido, vitaminas, minerais e compostos bioativos importantes presentes no inhame.

REFERÊNCIAS

- AACC - American Association of Cereal Chemist. 10^a edição. Março, v.1., 2000.
- ABONYI, B. I.; FENG, H.; TANG, J.; EDWARDS, C. G.; MATTINSON, D. S.; FELLMAN, J. K. Quality retention in strawberry and carrot purees dried with Refractance Window™ system. **Journal of food science**, v. 67, n. 3, p. 1051-1056, 2002.
- ABONYI, B. I.; TANG, J.; EDWARDS, C. G. Evaluation of energy efficiency and quality retention for the Refractance Window (drying system). **Research and Reports**. 1999.
- ABRAMO, M. A. **Taioba, cará, inhame: o grande potencial inexplorado**. Ícone, 1990.
- AHMADU, U.; AGBOMEJI, O.; YAHYA, M.; ODEKU, O. A Propriedades físico-químicas e materiais de amidos de três cultivares de *Dioscorea rotundata*. **Agricultura e Recursos Naturais**, v. 52, n. 1, pág. 79-83, 2018.
- AKPINAR, E. K.; DINCER, I. Moisture transfer models for slabs drying. **International Journal Heat and Mass Transfer**, v. 32, p. 80-93, 2005.
- AKPINAR, E. K.; DINCER, I. Moisture transfer models for slabs drying. **International Communications in Heat and Mass Transfer**, v. 32, n. 1-2, p. 80-93, 2005.
- AL-HILPHY, A. R. S; AL-RIKABI, A. K. J. Mathematical modeling and experimental study on thin layer halogen dryer of strawberry and study it's effect on antioxidant activity. **American Journal of Agricultural and Biological Science**, v. 8, p. 268, 2013.
- ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; DE ALCÂNTARA SILVA, V. M.; DE ALCÂNTARA RIBEIRO, V. H.; BARROS, E. R.; DE ASSIS CAVALCANTE, J.; NUNES, J. S. Influência da espessura na cinética de secagem de fatias de beterraba. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, p. e18942940-e18942940, 2020.
- ANDERSON, R. A., CONWAY, H. F., PFEIFER, V. F., GRIFFIN, E. L. Gelatinization of corn grits by roll- and extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, v. 14, n.1, p. 4–7, 11–12, 1969.
- ANDRES, C., ADEOLUWA, O. O.; BHULLAR, G. S. **Yam (*Dioscorea spp.*)**. In Brian Thomas, Brian G Murray and Denis J Murphy (Editors in Chief), *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, Vol 3, Waltham, MA: Academic Press, p. 435–441, 2017.
- ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos-uma breve revisão. **Revista do Instituto Adolfo Lutz (Impresso)**, v. 66, n. 1, p. 01-09, 2007.
- AOAC. **Official methods of analysis** (15th ed.). Vol. 2, Arlington: Association of Official Analytical Chemists, Inc614, 1990.
- AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry: Agricultural chemicals, contaminants, drugs**. Gaithersburg, 1997.

ARAÚJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; HARTMANN FILHO, C. P.; MARTINS, E. A. S. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 3, p. 448-457, 2017.

ARRANZ, F. J.; JIMENEZ-ARIZA, T., DIEZMA B.; CORREA, E. C. Determination of diffusion and convective transfer coefficients in food drying revisited: A new methodological approach. **Biosystems Engineering**, v. 162, p. 30–39, 2017.

AVULA, B.; WANG; Y. H.; ALI, Z.; SMILLIE, T. J.; KHAN, I. A. Chemical fingerprint analysis and quantitative determination of steroidal compounds from *Dioscorea villosa*, *Dioscorea* species and dietary supplements using UHPLC-ELSD. **Biomedical Chromatography**, v. 28, n. 2, p. 281-294, 2014.

BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; VEGA-MERCADO, H. **Dehidratación de Alimentos**. Zaragoza (Espanha): Acribia, 297 p, 2000.

BEIGI, M. Influence of drying air parameters on mass transfer characteristics of apple slices. **International Journal Heat and Mass Transfer**, v. 52, p. 2213–2221, 2016.

BEYERLEIN, P.; MENDES, A.; PEREIRA, H.S. Floral phenology, seed germination and hybrid plants of the Amerindian yam (*Dioscorea trifida*). **Acta Amazonica**, v. 49, n. 3, p. 167-172, 2019.

BEZERRA, C. V.; SILVA, L. H. M.; CORRÊA, D. F.; RODRIGUES, A. M. C. A modeling study for moisture diffusivities and moisture transfer coefficients in drying of passion fruit peel. **International Journal Heat and Mass Transfer**, v. 85, p. 750-755, 2015.

BHANDARI, B. R.; DATTA, N.; HOWES, T. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. **Drying Technology**, v.15, n.2, p.671-684, 1998.

BHANDARI, M. R.; KASAI, T.; KAWABATA, J. Nutritional evaluation of wild yam (*Dioscorea* spp.) tubers of Nepal. **Food chemistry**, v. 82, n. 4, p. 619-623, 2003.

BLIGH, E.G.; DYER, W.J. A rapid method for total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, 1959.

BÖMER, M.; RATHNAYAKE, A. I.; VISENDI, P.; SEWE, S. O.; SICAT, J. P. A.; SILVA, G., ...; SEAL, S. E. Tissue culture and next-generation sequencing: A combined approach for detecting yam (*Dioscorea* spp.) viruses. **Physiological and molecular plant pathology**, v. 105, p. 54-66, 2019.

BRASILEIRO, IMN. **Cinética de secagem de acerola “in natura” em monocamada. 1999. 80 f.** Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

BRAVO, L. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. **Nutrition reviews**, v. 56, n. 11, p. 317-333, 1998.

BRESSAN, E. A.; VEASEY, E. A.; PERONI, N.; PEREZ FELIPIM, A.; PACHECO DOS SANTOS, K. M. Collecting yam (*Dioscorea* spp.) and sweet potato (*Ipomoea batatas*)

germplasm in traditional agriculture small-holdings in the Vale do Ribeira, São Paulo, Brazil. **Plant Genetic Resources Newsletter (IPGRI/FAO)**, 2005.

BRIDLE, P.; TIMBERLAKE, C. F. Anthocyanins as natural food colours—selected aspects. **Food chemistry**, v. 58, n. 1-2, p. 103-109, 1997.

CABRERA JOVA, M.; GÓMEZ KOSKY, R.; RODRÍGUEZ MORALES, S.; LÓPEZ TORRES, J.; RAYAS CABRERA, A.; BASAIL PÉREZ, M.; E RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, G. Multiplicación in vitro de segmentos nodales del clon de ñame Blanco de Guinea (*Dioscorea cayenensis-D. rotundata*) en sistemas de cultivo semiautomatizado. **Revista Colombiana de Biotecnología**, v. 10, n. 2, 2008.

CAGNON, J. R.; CEREDA, M. P.; PANTAROTTO, S. Cultura de tuberosas amiláceas latino-americanas. **CD-rom Série: Cultura de tuberosas amiláceas latino-americanas**, v. 2, 2002.

CALÍN-SÁNCHEZ, A.; FIGIEL, A.; WOJDYLO, A.; SZARYEZ, M.; CARBONELL-BARRACHINA, A.A. Drying of garlic slices using convective pre-drying and vacuum-microwave finishing drying: kinetics, energy consumption, and quality studies. **Food and Bioprocess Technology**, v. 7, n. 2, p. 398-408, 2014.

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

CAPARINO, O.A., TANG, J., NINDO, C.I., SABLANI, S.S., POWERS, J.R., FELLMAN, J.K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine ‘Carabao’ var.) powder. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 1, p. 135-148, 2012.

CARNEVALLI, D. B.; DE ARAÚJO, A. P. S. Atividade Biológica da Pimenta Preta (*Piper nigrum* L.): Revisão de Literatura. **UNICIÊNCIAS**, v. 17, n. 1, 2015.

CARVALHO, P.C.L.; TEIXEIRA, C.A.; DE JESUS BORGES, A. Diversidade genética em *Discorea spp.* no Recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, 2009.

CARVALHO, T.I.M.; NOGUEIRA, T.Y.K.; MAURO, M.A.; GÓMEZ-ALONSO, S.; GOMES, E.; DA-SILVA, R., ...; LAGO-VANZELA, E.S. Desidratação do suco de jambolan [*Syzygium cumini* (L.)] durante a secagem da esteira de espuma: Mudanças quantitativas e qualitativas dos compostos fenólicos. **Food Research International**, v. 102, p. 32-42, 2017.

CASTOLDI, M.; ZOTARELLI, M. F.; DURIGON, A.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. Production of Tomato Powder by Refractance Window Drying. **Drying Technology** 2015, 33, 1463–1473.

CASTOLDI, M. **Estudo do processo de secagem de polpa de tomate por Refractance Window**. Dissertação. 2012.

CÁUPER, G. C. B.; CÁUPER, F. R. M.; BRITO, L. L. Biodiversidade Amazônica–Flora Amazônica. **Centro Cultural dos Povos da Amazônia**, Manaus. p.162, 2006.

CELLI, G. B.; KHATTAB, R.; GHANEM, A.; BROOKS, M. S. L. Refractance Window™ drying of haskap berry—preliminary results on anthocyanin retention and physicochemical properties. **Food chemistry**, v. 194, p. 218-221, 2016.

CHAYJAN, R. A.; PEYMAN, M. H.; ESNA-ASHARI, M.; SALARI, K. Influence of drying conditions on diffusivity, energy and color of seedless grape after dipping process. **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, p. 96, 2011.

CHIU, C. S.; DENG, J. S.; CHANG, H. Y.; CHEN, Y. C.; LEE, M. M.; HOU, W. C.; HUANG, G. J. Antioxidant and anti-inflammatory properties of Taiwanese yam (*Dioscorea japonica* Thunb. var. *pseudojaponica* (Hayata) Yamam.) and its reference compounds. **Food chemistry**, v. 141, n. 2, p. 1087-1096, 2013.

CONTADO, E. W. N. DA F.; PEREIRA J.; EVANGELISTA, S. R.; LIMA JUNIOR, F. A.; ROMANO, L. M.; COUTO, E. M. Composição centesimal da mucilagem do inhame (*Dioscorea* spp.) liofilizado comparado a de um melhorador comercial utilizado na panificação e avaliação sensorial de pães de forma. **Ciência agrotecnológica**, v. 33, p. 1813-1818, 2009.

CORZO, O., BRACHO, N., ALVAREZ, C., RIVAS, V., & ROJAS, Y. Determining the moisture transfer parameters during the air drying of mango slices using biot–dincer numbers correlation. **Journal Food Process Engineering**, v. 31, p. 853-873, 2008.

COSTA, C. F.; CORRÊA, P. C.; VANEGAS, J. D.; BAPTESTINI, F. M.; CAMPOS, R. C.; FERNANDES, L. S. Mathematical modeling and determination of thermodynamic properties of jabuticaba peel during the drying process. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 576-580, 2016.

COSTA, J. C. M. DA; MIKI, K. S. L.; DA SILVA RAMOS, A.; TEIXEIRA-COSTA, B. E. Development of biodegradable films based on purple yam starch/chitosan for food application. **Heliyon**, v. 6, n. 4, p. 03718, 2020.

COSTA, R. D. S.; RODRIGUES, A.M. C.; LAURINDO, J.B.; SILVA, L. H. M. Development of dehydrated products from peach palm–tucupi blends with edible film characteristics using refractive window. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, p. 560-570, 2019.

CUQ, B.; RONDET, E.; ABECASSIS, J. Food powders engineering, between knowhow and science: Constraints, stakes and opportunities. **Powder Technology**, v. 208, n. 2, p. 244-251, 2011.

DE ABREU, D. P.; LOSADA, P. P.; MAROTO, J.; CRUZ, J. M. Evaluation of the effectiveness of a new active packaging film containing natural antioxidants (from barley husks) that retard lipid damage in frozen Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). **Food Research International**, v. 43, n. 5, p. 1277-1282, 2010.

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

DEGÁSPARI, C. H.; WASZCZYNSKYJ, N. Propriedades antioxidantes de compostos fenólicos. **Visão acadêmica**, v. 5, n. 1, 2004.

DEL RÉ, P. V.; JORGE, N. Especiarias como antioxidantes naturais: aplicações em alimentos e implicação na saúde. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 14, n. 2, p. 389-399, 2012.

DEY, P.; CHAUDHURI, T. K. In vitro modulation of TH1 and TH2 cytokine expression by edible tuber of *Dioscoreaalata* and study of correlation patterns of the cytokine expression. **Food Science and Human Wellness**, v. 3, n. 1, p. 1-8, 2014.

DEY, P.; RAY, S.; CHAUDHURI, T. K. Immunomodulatory activities and phytochemical characterisation of the methanolic extract of *Dioscorea alata* aerial tuber. **Journal of Functional Foods**, v. 23, p. 315-328, 2016.

DINCER, I.; DOST, S. A. Modeling study for moisture diffusivities and moisture transfer coefficients in drying of solid objects. **International Journal Energy Research**, v. 20, p. 531-539, 1996.

DINCER, I.; DOST, S. An analytical model for diffusing moisture in solid objects during drying. **Drying Technology**, v. 13, p. 425-435, 1995.

DINCER, I.; HUSSAIN, M. M. Development of a new Bi–Di correlation for solids drying. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 45, n. 15, p. 3065-3069, 2002.

Dioscorea trifida in Ficha de Espécies do Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBr). Disponível em:

https://ferramentas.sibbr.gov.br/ficha/bin/view/especie/dioscorea_trifida

DOYMAZ, İ. Mathematical modeling of drying of tomato slices using infrared radiation. **Journal of food processing and preservation**, v. 38, n. 1, p. 389-396, 2014.

DUAN, X.; HAN, H.; DENG, R.; WU, P. Drying treatments on Chinese yam (*Dioscorea* spp.) prior to wet milling influence starch molecular structures and physicochemical properties. **Food Hydrocolloids**, v. 102, p. 105-599, 2020.

DURIGON, A.; PARISOTTO, E. I. B.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. Heat transfer and drying kinetics of tomato pulp processed by cast-tape drying. **Drying Technology**, v.36, p. 160-168, 2018.

EVРАНУZ, E. O. Drying vegetables: new technology, equipment and examples. Em **Handbook of Vegetables and Vegetable Processing**. Ed. Sinha, N. K. Blackwell Publishing Ltd, 299-315, 2011.

FALADE, K. O.; AYETIGBO, O. E. Effects of annealing, acid hydrolysis and citric acid modifications on physical and functional properties of starches from four yam (*Dioscorea* spp.) cultivars. **Food hydrocolloids**, v. 43, p. 529-539, 2015.

FALADE, K. O.; OKAFOR, C. A. Physical, functional, and pasting properties of flours from corms of two Cocoyam (*Colocasia esculenta* and *Xanthosomasagittifolium*) cultivars. **Journal of food science and technology**, v. 52, n. 6, p. 3440-3448, 2015.

FALADE, K. O.; OLURIN, T. O.; IKE, E. A.; AWORH, O. C. Effect of pretreatment and temperature on air-drying of *Dioscorea alata* and *Dioscorea rotundata* slices. **Journal Food Engineering**, v. 80, p. 1002-1010, 2007.

FARAHNAKY, A., BAKHSHIZADEH-SHIRAZI, S., MESBAHI, G., MAJZOABI, M., REZVANI, E., SCHLEINING, G. Ultrasound-assisted isolation of mucilaginous hydrocolloids from *Salvia macrosiphon* seeds and studying their functional properties. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 20, p. 182-190, 2013.

FAUZIAH, F.; MAS' UDAH, S.; HAPSARI, L.; NURFADILAH, S. Biochemical Composition and Nutritional Value of Fresh Tuber of Water Yam (*Dioscorea alata* L.) Local Accessions from East Java, Indonesia. **Agrivita**, v. 42, n. 2, p. 255, 2020.

FAYOSE, F.; HUAN, Z. Heat pump drying of fruits and vegetables: Principles and potentials for Sub-Saharan Africa. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 2016, p. 1-8, 2016.

FAZAEI, M., EMAM-DJOMEH, Z., ASHTARI, A. K., OMID, M. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food and bioproducts processing**, v. 90, n. 4, p. 667-675, 2012.

FEDENIUK, R.W.; BILIADERIS, C.G. Composition and physicochemical properties of linseed (*Linum usitatissimum* L.) mucilage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 42, n. 2, p. 240-247, 1994.

FERRERA, T.; HELDWEIN, A.; DOS SANTOS, C. O.; SOMAVILLA, J.; SAUTTER, C. Substâncias fenólicas, flavonoides e capacidade antioxidante em erva-mate sob diferentes coberturas do solo e sombreamentos. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 18, n. 2, supl. 1, p. 588-596, 2016.

FRANCIS, Frederick John; MARKAKIS, Pericles C. Food colorants: anthocyanins. **Critical Reviews in Food Science & Nutrition**, v. 28, n. 4, p. 273-314, 1989.

FRANCKI, Valeska Mangini; GOLLÜCKE, Andréa Pittelli Boiago. Alimentos funcionais: introdução às principais substâncias bioativas em alimentos. In: **Alimentos funcionais: introdução às principais substâncias bioativas em alimentos**. 2005.

FRANCO, S.; JAQUES, A.; PINTO, M.; FARDELLA, M.; VALENCIA, P.; NÚÑEZ, H.; SIMPSON, R. Dehydration of salmon (Atlantic salmon), beef, and apple (Granny Smith) using Refractance window™: Effect on diffusion behavior, texture, and color changes. **Innovative food science & emerging technologies**, v. 52, p. 8-16, 2019.

- FULEKI, T.; FRANCIS, F. J. Quantitative methods for anthocyanins. 1. Extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. **Journal of food science**, v. 33, n. 1, p. 72-77, 1968.
- FURTADO, G. F.; SILVA, F. S.; PORTO A. G.; SANTOS P. Drying of ceriguela pulp through the foam-mat drying method. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 12, p. 9-14, 2010.
- GÖGÜS, F.; MASKAN, M. Air-drying characteristics of solid waste (pomace) of olive oil processing. **Journal of Food Engineering**, v. 72, p. 378–382, 2006.
- GOVAERTS, R.; WILKIN, P.; SAUNDERS, R. M. K. **World Checklist of Dioscoreales. Yams and their Allies**. Kew: The Board of Trustees of the Royal Botanic Gardens, pp. 1–65. 2007.
- GU, K.D.; WANG, C.K.; HU, D.G.; HAO, Y.J. Como as antocianinas pintam nossos produtos hortícolas? **Scientia horticultrae**, v. 249, p. 257-262, 2019.
- GUINÉ, R. P. F.; PINHO, S.; BARROCA, M. J. Study of the convective drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*). **Food Bioproducts Processing**, v. 89, p. 422-428, 2011.
- GUTIÉRREZ, T. J.; TAPIA, M. S.; PÉREZ, E.; FAMÁ, L. Structural and mechanical properties of edible films made from native and modified cush-cush yam and cassava starch. **Food Hydrocolloids**, v. 45, p. 211-217, 2015.
- HAGHI, A. K.; AMANIFARD, N. Analysis of heat and mass transfer during microwave drying of food products. **Brazilian Journal Chemical Engineering**, v.25, p. 491-501, 2008.
- HALVORSEN, BL, HOLTE, K., MYHRSTAD, MC, BARIKMO, I., HVATTUM, E., REMBERG, SF, ... & MOSKAUG, Ø. Uma triagem sistemática de antioxidantes totais em plantas dietéticas. **The Journal of Nutrition**, v. 132, n. 3, pág. 461-471, 2002.
- HARBORNE, J. B. **The flavonoids: advances in research since 1980**. Springer, 2013.
- HATA, Y.; REGUERO, M. T.; DE GARCÍA, L. A.; BUITRAGO, G.; ÁLVAREZ, A. Evaluación del contenido de saponinas en variedades nativas de ñame (*Dioscorea* spp.), provenientes de la colección de la Universidad de Córdoba. **Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas**, v. 32, n. 2, 2003.
- HORNUNG, P. S.; AVILA, S.; LAZZAROTTO, M.; DA SILVEIRA LAZZAROTTO, S. R.; DE SIQUEIRA, G. L. D. A.; SCHNITZLER, E.; RIBANI, R. H. Enhancement of the functional properties of Dioscoreaceas native starches: Mixture as a green modification process. **Thermochimica acta**, v. 649, p. 31-40, 2017.
- HOU, W. C.; HSU, F. L.; LEE, M. H. Yam (*Dioscorea batatas*) tuber mucilage exhibited antioxidant activities in vitro. **Plantamedica**, v. 68, n. 12, p. 1072-1076, 2002.
- HSU, C. L.; HURANG, S. L.; CHEN, W.; WENG, Y. M.; TSENG, C. Y. Qualities and antioxidant properties of bread as affected by the incorporation of yam flour in the

formulation. **International journal of food science & technology**, v. 39, n. 2, p. 231-238, 2004.

HUANG, C. C.; LAI, P.; CHEN, I. H.; LIU, Y. F.; WANG, C. C. Effects of mucilage on the thermal and pasting properties of yam, taro, and sweet potato starches. **LWT - Food Science and Technology**, v. 43, n. 6, p. 849-855, 2010.

JAAKOLA, L. New insights into the regulation of anthocyanin biosynthesis in fruits. **Trends in plant science**, v. 18, n. 9, p. 477-483, 2013.

JACKMAN, R.L.; YADA, R.Y.; TUNG, M.A. Anthocyanins as food colorants a review. **Journal of food biochemistry**, v. 11, n. 3, p. 201-247, 1987.

JAFARI, S. M.; AZIZI, D.; MIRZAEI, H.; DEHNAD, D. Comparing quality characteristics of oven-dried and Refractance Window-dried kiwifruits. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 40, n. 3, p. 362-372, 2016.

JANGAM, S. V.; LAW, C. L.; MUJUMDAR, A. S. **Drying of food, vegetables and fruits**. 2010.

JAYACHANDRAN, K. S.; VASANTHI, A. H. R.; GURUSAMY, N. Steroidal saponindiosgenin from *Dioscorea bulbifera* protects cardiac cells from hypoxia-reoxygenation injury through modulation of pro-survival and pro-death molecules. **Pharmacognosy magazine**, v. 12, n. Suppl 1, p. S14, 2016.

JAYAKODY L.; HOOVER R.; LIU, Q.; DONNER, E. Studies on tuber starches. II. Molecular structure, composition and physicochemical properties of yam (*Dioscorea* sp.) starches grown in Sri Lanka. **Carbohydrate Polymers**, v. 69, n. 1, p. 148-163, 2007.

JIANG, Q.; GAO, W.; LI, X.; XIA, Y.; WANG, H.; WU, S.; ...; XIAO, P. Characterizations of starches isolated from five different *Dioscorea* L. species. **Food Hydrocolloids**, v. 29, n. 1, p. 35-41, 2012.

JIANG, Q.; GAO, W.; SHI, Y.; LI, X.; WANG, H.; HUANG, L.; XIAO, P. Physicochemical properties and in vitro digestion of starches from different *Dioscorea* plants. **Food Hydrocolloids**, v. 32, n. 2, p. 432-439, 2013.

JIDEANI, V. A.; MPOTOKWANA, S. M. Modeling of water absorption of Bots wana bambara varieties using Peleg's equation. **Journal of Food Engineering**, v. 92, p. 182-188, 2009.

JITTANIT, W.; NITI-ATT, S.; TECHANUNTACHAIKUL, O. Study of spray drying of pineapple juice using maltodextrin as an adjunct. **Chiang Mai Journal of Science**, v. 37, n. 3, p. 498-506, 2010.

KANG, J.; Li, Z.; TONG, W.; GITTE, J. S.; SCHAUSS, A. G.; WU, X. KANG. Anti-oxidant capacities of flavonoid compounds isolated from acai pulp (*Euterpe oleracea* Mart.). **Food Chemistry**, v. 122, n. 3, p. 610-617, 2010.

- KASPAR, K. L.; PARK, J. S.; MATHISON, B. D.; BROWN, C. R.; MASSIMINO, S.; CHEW, B. P. Processing of pigmented-flesh potatoes (*Solanum tuberosum* L.) on the retention of bioactive compounds. **International journal of food science & technology**, v. 47, n. 2, p. 376-382, 2012.
- KAYODE, R.; BUHARI, O.; OTUTU, L.; AJIBOLA, T.; OYEYINKA, S.; OPALEKE, D.; AKEEM, S. Physicochemical properties of processed aerial yam (*Dioscorea bulbifera*) and sensory properties of paste (amala) prepared with cassava flour. **The Journal of Agricultural Sciences**, v. 12, n. 2, p. 84-94. 2017.
- KHATCHATOURIAN, O. A.; VIELMO, H. A.; BORTOLAIA, L. A. (2013). Modelling and simulation of cross flow grain dryers. **Biosystatic Engineering**, v. 116, p. 335-345, 2013.
- KIRIZAWA, M.; XIFREDA, C. C.; COUTO, R.; ARAÚJO, D. Dioscoreaceae In Lista de Espécies da Flora do Brasil. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro**, v. 25, p. 2015, 2015.
- KOROISHI, E. T.; BOSS, E. A.; WOLF MACIEL, M. R.; MACIEL FILHO, R. Process development and optimization for freeze-drying of natural orange juice. **Journal of food process engineering**, v. 32, n. 3, p. 425-441, 2009.
- KUMAR, A., RAMAKUMAR, P., PATEL, A. A., GUPTA, V. K., SINGH, A. K. Influence of drying temperature on physico-chemical and techno-functional attributes of elephant foot yam (*Amorphophalluspaeoniifolius*) var. Gajendra. **Food bioscience**, v. 16, p. 11-16, 2016.
- LAFONT-MENDOZA, J. J.; SEVERICHE-SIERRA, C. A.; JAIMES-MORALES, J. Evaluation of the Starch Quantification Methods of *Musa paradisiaca*, *Manihot esculenta*, and *Dioscorea trifida* Using Factorial Experiments. **International Journal of Food Science**, v. 2018, 2018.
- LEBOT, Vincent. **Tropical root and tuber crops: cassava, sweet potato, yams and aroids**. Cabi, 2009.
- LOBATO, A. C. I. N.; DAMACENO, J. B. D.; AGUIAR, J. P. L.; SARAIVA-BONATTO, E. C.; DOS SANTOS ROLIM, C. S.; DE SOUZA FERNANDES, N., ...; DO AMARAL SOUZA, F. D.C. Development and characterization of biodegradable films from fermented yam (*Dioscorea trifida* L. f.). **African Journal of Food Science**, v. 13, n. 10, p. 235-247, 2019.
- LOPES, T. J.; XAVIER, M.F; QUADRI, M.G. N.; QUADRI, M. B. Antocianinas: uma breve revisão das características estruturais e da estabilidade. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 13, n. 3, 2007.
- LOVERA, M.; DE CASTRO, G. M. C.; DA ROCHA PIRES, N.; BASTOS, M. D. S. R.; ARAÚJO, M. L. H.; LAURENTIN, A., ...; DE OLIVEIRA, H. D. Pyrodextrinization of yam (*Dioscorea* sp.) starch isolated from tubers grown in Brazil and physicochemical characterization of yellow pyrodextrins. **Carbohydrate Polymers**, p. 116-382, 2020.
- MACHADO, N.F.L.; DOMÍNGUEZ-PERLES, R. Addressing facts and gaps in the phenolics chemistry of winery by-products. **Molecules**, v. 22, n. 2, p. 286, 2017.

MAISUTHISAKUL, P.; SUTTAJIT, M.; PONGSAWATMANIT, R. Assessment of phenolic content and free radical-scavenging capacity of some Thai indigenous plants. **Food chemistry**, v. 100, n. 4, p. 1409-1418, 2007.

MARÇO, P. H.; POPPI, R. J.; SCARMINIO, I. S. Procedimentos analíticos para identificação de antocianinas presentes em extratos naturais. **Química Nova**, v. 31, n. 5, p. 1218-1223, 2008.

MAZZA, G.; FRANCIS, F. J. Anthocyanins in grapes and grape products. **Critical Reviews in Food Science & Nutrition**, v. 35, n. 4, p. 341-371, 1995.

McLEAN, J. A.; KARADAS, F.; SURAI, P.; McDEVITTI, R.; SPEAKE, B. McLEAN, Jennifer A. et al. Lipid-soluble and water-soluble antioxidant activities of the avian intestinal mucosa at different sites along the intestinal tract. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, v. 141, n. 3, p. 366-372, 2005.

MCMINN, W. A. M.; KHRAISHEH, M. A. M.; MAGEE, T. R. A. Modelling the mass transfer during convective, microwave and combined microwave-convective drying of solid slabs and cylinders. **Food Research International**, v. 36, p. 977-983, 2003.

MERCADO, A.N.A.; ASSIA, I.S.S.; MENDOZA, J.G.S. Desarrollo y productividad de ñame (*Dioscorea trifida* y *Dioscorea esculenta*) en diferentes condiciones hídricas. **Actaagronómica**, v. 64, n. 1, p. 30-35, 2015.

MOLLICA, J.Q.; CARA, D. C.; D'AURIOL, M.; OLIVEIRA, V. B.; CESAR, I. C.; BRANDÃO, M. G. Anti-inflammatory activity of American yam *Dioscorea trifida* Lf in food allergy induced by ovalbumin in mice. **Journal of Functional Foods**, v. 5, n. 4, p. 1975-1984, 2013.

MONDACA R. A. L.; ZAMBRA, C. E.; GÁLVEZA, A. V.; MORAGA, N. O. Coupled 3D heat and mass transfer model for numerical analysis of drying processing papaya slices. **Journal of Food Engineering**, v.116, p. 109-117, 2013.

MORAIS, A. O.; GUT, J. A. W. Determination of the effective radial thermal diffusivity for evaluating enhanced heat transfer in tubes under non-Newtonian laminar flow. **Brazilian Journal Chemical Engineering**, v. 32, p. 445-454, 2015.

MOSES, J.A., NORTON, T., ALAGUSUNDARAM, K., TIWARI, B.K. Novel drying techniques for the food industry. **Food Engineering Reviews**, v. 6, n. 3, p. 43-55, 2014.

MRKIC, V.; UKRAINCZYK, M.; TRIPALO, B. Applicability of moisture transfer Bi-Di correlation for convective drying of broccoli. **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 640-646, 2007.

MRKIC, V.; UKRAINCZYK, M.; TRIPALO, B. Applicability of moisture transfer Bi-Di correlation for convective drying of broccoli. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 2, p. 640-646, 2007.

MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Parameter optimization for spray drying of tamarind pulp using response surface methodology. **Powder Technology**, v. 279, p. 179-184, 2015.

- NACZK, M.; SHAHIDI, F. Extraction and analysis of phenolics in food. **Journal of chromatography A**, v. 1054, n. 1-2, p. 95-111, 2004.
- NASS, L. L. **Recursos genéticos vegetais**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2007.
- NINDO, C. I.; FENG, H.; SHEN, G. Q.; TANG, J.; KANG, D. H. Energy utilization and microbial reduction in a new film drying system. **Journal of Food Processing Preservation**, 27, 117-136, 2003.
- NINDO, C. I.; SUN, T.; WANG, S. W.; TANG, J.; POWERS, J. R. Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis* L.). **Swiss Society of Food Science and Technology**, v. 36, p. 507–516, 2003.
- NINDO, C. I.; TANG, J. Refractance window dehydration technology: a novel contact drying method. **Drying technology**, v. 25, n. 1, p. 37-48, 2007.
- NWAFOR, F. I.; EGONU, S. N.; NWEZE, N. O.; OHABUENYI, N. EFFECT of processing methods on the nutritional values and anti-nutritive factors of *Adenanthera pavonina* L.(Fabaceae) seeds. **African Journal of Biotechnology**, v. 16, n. 3, p. 106-112, 2017.
- OCHOA, S.; DURANGO-ZULETA, M. M.; OSORIO-TOBÓN, J. Techno-economic evaluation of the extraction of anthocyanins from purple yam (*Dioscorea alata*) using ultrasound-assisted extraction and conventional extraction processes. **Food and Bioproducts Processing**, 2020.
- OCHOA-MARTÍNEZ, C. I.; QUINTERO, P. T.; AYALA, A. A.; ORTIZ, M. J. Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window™ technique. **Journal of Food engineering**, v. 109, n. 1, p. 69-75, 2012.
- OLIVEIRA, A. P.; BARBOSA, L. J. N.; PEREIRA, W. E.; SILVA, J. E. L.; OLIVEIRA, A. N. P. Produção de túberas comerciais de inhame em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 25, p. 73-76, 2007.
- OLIVEIRA, G. H.; CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, A. P.; BOTELHO, S. C. C. Cinética de secagem de folhas de fumo e suas propriedades termodinâmicas. **Revista Tecnologia em Marcha**, p. g. 71-77, 2019.
- ORDÓÑEZ, J. A. Conservação de alimentos com base na modificação do pH, da atmosfera e da atividade de água. Evaporação e desidratação. Em **Tecnologia de Alimentos: Componentes de Alimentos e Processos**. v. 1. Porto Alegre: Artmed, p. 219-242, 2005.
- OTEGBAYO, B.; OGUNIYAN, D.; AKINWUMI, O. Physicochemical and functional characterization of yam starch for potential industrial applications. **Starch-Stärke**, v. 66, n. 3-4, p. 235-250, 2014.
- PACHECO-DELAHAYE, E.; TECHEIRA, N.; GARCÍA, A. D. Elaboración y evaluación de polvos para bebidas instantáneas a base de harina extrudida de ñame (*Dioscorea alata*). **Revista chilena de nutrición**, v. 35, n. 4, p. 452-459, 2008.

PADHAN, B.; BISWAS, M.; PANDA, D. Nutritional, anti-nutritional and physico-functional properties of wild edible yam (*Dioscorea* spp.) tubers from Koraput, India. **Food Bioscience**, v. 34, p. 100527, 2020.

PADHAN, B.; NAYAK, J.K.; PANDA, D. Natural antioxidant potential of selected underutilized wild yams (*Dioscorea* spp.) for health benefit. **Journal of Food Science and Technology-Mysore**, v. 57, n. 6, p. 2370-2376, 2020.

PADHAN, B.; PANDA, D. Potential of Neglected and Underutilized Yams (*Dioscorea* spp.) for Improving Nutritional Security and Health Benefits. **Frontiers in Pharmacology**, v. 11, p. 496, 2020.

PARK, J.M.; KIM, Y.J.; KIM, J.S.; HANA, Y.M.; KANGWANA, N.; HAHMA Ki, B.; KIM, T.S.; KWON, O; KIM, E.H. Anti-inflammatory and carbonic anhydrase restoring actions of yam powder (*Dioscorea*spp) contribute to the prevention of cysteamine-induced duodenal ulcer in a rat model. **Nutrition research**, v. 33, n. 8, p. 677-685, 2013.

PAVAN, M. A.; SCHMIDT, S. J.; FENG, H. Water sorption behavior and thermal analysis of freeze-dried, Refractance Window-dried and hot-air dried açai (*Euterpe oleracea* Martius) juice. **LWT-Food Science and Technology**, v. 48, n. 1, p. 75-81, 2012.

PEDRALLI, G. O inhame, esse desconhecido. **Ciência Hoje**, v. 8, n. 46, p. 58-62, 1988.

PÉREZ, E., GIBERT, O., SABATE, A., JIMÉNEZ, Y., SÁNCHEZ, T., GIRALDO, A., PONTOIRE, B., GUILOIS, S., LAHON, M.-C., REYNES, M; DUFOUR, D. Physicochemical, functional and macromolecular properties of waxy yam starches discovered from “Mapuey” (*Dioscorea trifida*) genotypes in the Venezuelan Amazon. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 59, p. 263–273, 2011.

PÉREZ, E.; GIBERT, O.; SABATE, A.; JIMÉNEZ, Y.; SÁNCHEZ, T.; GIRALDO, A.; PONTOIRE, B.; GUILOIS, S.; LAHON, M.-C.; REYNES, M.; DUFOUR, D. Physicochemical, functional, and macromolecular properties of waxy yam starches discovered from “Mapuey” (*Dioscorea trifida*) genotypes in the Venezuelan Amazon. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 59, n. 1, p. 263-273, 2010.

PÉREZ, E.; ROLLAND-SABATÉ, A.; DUFOUR, D.; GUZMÁN, R.; TAPIA, M.; RAYMUNDEZ, M.; GIBERT, O. Isolated starches from yams (*Dioscorea*spp) grown at the Venezuelan Amazons: Structure and functional properties. **Carbohydrate polymers**, v. 98, n. 1, p. 650-658, 2013.

PÉREZ, E.; SEGOVIA, X.; TAPIA, M. S.; SCHROEDER, M. Native and cross-linked modified *Dioscorea trifida* (cush-cush yam) starches as bio-matrices for edible films. **Journal of cellular plastics**, v. 48, n. 6, p. 545-556, 2012.

PARISOTTO, E. I. B. **Determinação de parâmetros, modelagem matemática e simulação numérica da secagem de polpa de tomate por cast-tape drying**. Dissertação. UFSC. 2016.

QIU, J.; VUIST, J. E.; BOOM, R. M.; SCHUTYSER, M. A. Formation and degradation kinetics of organic acids during heating and drying of concentrated tomato juice. **LWT - Food Science Technology**, v. 87, p. 112-121, 2018.

RAGHAVI, L. M.; MOSES, J. A.; ANADHARAMAKRISHNAN, C. Refractance window drying of foods: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 222, p. 267–275, 2018.

RAJORIYA, D.; SHEWALE, S. R.; HEBBAR, H. U. Refractance Window Drying of Apple Slices: Mass Transfer Phenomena and Quality Parameters. **Food Bioprocess Technology**, v. 12, p. 1646-1658, 2019.

RAMOS-ESCUADERO, F.; SANTOS-BUELGA, C.; PÉREZ-ALONSO, J. J.; YÁÑEZ, J. A.; DUEÑAS, M. HPLC-DAD-ESI/MS identification of anthocyanins in *Dioscorea trifida* L. yam tubers (purple sachapapa). **European Food Research and Technology**, v. 230, p. 745-752, 2010.

RE, R., PELLEGRINI, N., PROTEGGENTE, A., PANNALA, A., YANG, M., RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free radical biology and medicine**, 26(9-10), 1231-1237, 1999.

REZENDE, Y. R. R. S.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighiaemarginata* DC) pulp and residue by spray and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization. **Food chemistry**, v. 254, p. 281-291, 2018.

SABLANI, S. S.; KASAPIS, S.; RAHMAN, M. S. Evaluating water activity and glass transition concepts for food stability. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 266-271, 2007.

SAIKIA, S., MAHNOT, N. K., MAHANTA, C. L. Effect of spray drying of four fruit juices on physicochemical, phytochemical and antioxidant properties. **Journal of food processing and preservation**, 39(6), 1656-1664, 2015.

SALEHI, B.; SENER, B.; KILIC, M.; SHARIFI-RAD, J.; NAZ, R.; YOUSAF, Z., ...;TAHERI, Y. *Dioscorea* plants: a genus rich in vital nutra-pharmaceuticals-A review. **Iranian Journal of Pharmaceutical Research: IJPR**, v. 18, n. Suppl1, p. 68, 2019.

SANTOS, E. S.; MACEDO, L. S. **Tendências e Potencialidades da cultura do Inhame (*Dioscorea* spp.) no Nordeste do Brasil**. [Consultado: 2/junio/2011.]. 2006.

SEANAYAKE, S.P.J. N. Green tea extract: Chemistry, antioxidant properties and food applications—A review. **Journal of Functional Foods**, v. 5, n. 4, p. 1529-1541, 2013.

SHAHIDI, F.; NACZK, M. Methods of analysis and quantification of phenolic compounds. **Food phenolic: Sources, chemistry, effects and applications**, p. 287-293, 1995.

SHARLINA, M. E.; YAACOB, W. A.; LAZIM, A. M.; FAZRY, S.; LIM, S. J.; ABDULLAH, S., ...; KUMARAN, M. Physicochemical Properties of Starch from *Dioscorea pycnophylla* tubers. **Food chemistry**, v. 220, p. 225-232, 2017.

- SHOYAMA, Y.; NISHIOKA, I.; HERATH, W.; UEMOTO, S.; FUJIEDA, K.; OKUBO, H. Two acylated anthocyanins from *Dioscorea alata*. **Phytochemistry**, v. 29, n. 9, p. 2999-3001, 1990.
- SIKORA, E.; CIESLIK, E.; LESZCZYNSKA, T.; FILIPIAK-FLORKIWUACZ, A.; PISULEWSKI, P. M. SIKORA, Elżbieta et al. The antioxidant activity of selected cruciferous vegetables subjected to aquathermal processing. **Food Chemistry**, v. 107, n. 1, p. 55-59, 2008.
- SILVA, G. D.; CONSTANT, P. B. L.; FIGUEIREDO, R. D.; MOURA, S. M. Formulação e estabilidade de corantes de antocianinas extraídas das cascas de jabuticaba (*Myrciaria* spp.) Formulation and stability of anthocyanins's colorants formulated with peels jabuticaba (*Myrciaria* spp.). **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 21, n. 3, p. 429-436, 2010.
- SILVA, W. P.; SILVA, C. M. E.; GAMA, F. J. Estimation of thermo-physical properties of products with cylindrical shape during drying: The coupling between mass and heat. **Journal of Food Engineering**, v. 141, p. 65-73, 2014.
- SIQUEIRA, M. V. B. M.; NASCIMENTO, W. F. D.; SILVA, L. R. G.; FERREIRA, A. B.; SILVA, E. F. D.; MING, L. C.; VEASEY, E. A. Distribution, management and diversity of yam local varieties in Brazil: a study on *Dioscorea alata* L. **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, n. 1, p. 52-61, 2014.
- SOETHE, C.; MATTOS, L. M.; STEFFENS, C. A. Armazenamento refrigerado de pimenta dedo-de-moça 'BRS Mari' em embalagem polimérica. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 3, p. 214-220, 2017.
- SOUZA, D. S.; PIMENTEL, J. D. R.; MARQUES, L. G.; NARAIN, N. Estudo da cinética de reidratação do pó da polpa do abacate liofilizado. **Scientia Plena**, v. 7, n. 6, 2011.
- SRIKANTH, K. S.; SHARANAGAT, V. S.; KUMAR, Y.; BHADRA, R.; SINGH, L.; NEMA, P. K.; KUMAR, V. Convective drying and quality attributes of elephant foot yam (*Amorphophalluspaeoniifolius*). **LWT - Food Science and Technology**, v. 99, p. 8-16, 2019.
- STATISTICA for Windows 5.5. **Computer program manual**. Tulsa: StatSoft., 2000.
- STAWSKI, D. New determination method of amylose content in potato starch. **Food Chemistry**, v. 110, n. 3, p. 777-781, 2008.
- STINTZING, F. C.; STINTZING, A. S.; CARLE, R.; FREI, B.; WROLSTAD, R. E. Color and antioxidant properties of cyanidin-based anthocyanin pigments. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 21, p. 6172-6181, 2002.
- SUCUPIRA, N. R.; DA SILVA, A. B.; PEREIRA, G.; DA COSTA, J. N. Métodos para determinação da atividade antioxidante de frutos. **Journal of Health Sciences**, v. 14, n. 4, 2012.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3 edição. **Porto alegre-Artmed**, p. 613-641, 2004.
- TECHEIRA, N.; SÍVOLI, L.; PERDOMO, B.; RAMÍREZ, A.; SOSA, F. Caracterización físico química, funcional y nutricional de harinas crudas obtenidas a partir de

diferentes variedades de yuca (*Manihot esculenta* Crantz), batata (*Ipomoea batatas* Lam) y ñame (*Dioscorea alata*), cultivadas en Venezuela. **Interciencia**, v.39, p.191-197, 2014.

TEIXEIRA, A. P., OLIVEIRA, I. M. A., LIMA, E. S., & MATSUURA, T. (2013). The use of purple yam (*Dioscorea trifida*) as a health-promoting ingredient in bread making. **Journal Biological Research**, v.3, p.747-758, 2013.

TONTUL, I.; ERGIN, F.; EROĞLU, E.; KÜÇÜKÇETIN, A.; TOPUZ, A. Physical and microbiological properties of yoghurt powder produced by refractance window drying. **International Dairy Journal**, v. 85, p. 169-176, 2018.

TOPUZ, A., DINCER, C., ÖZDEMİR, K.S., FENG, H., KUSHAD, M. Influence of different drying methods on carotenoids and capsaicinoids of paprika (Cv., Jalapeno). **Food Chemistry**, v. 129, n. 3, p. 860-865, 2011.

VAN 'T LAND, M.; RAES, K. Refractance window drying of fish silage—An initial investigation into the effects of physicochemical properties on drying efficiency and nutritional quality. **LWT**, v. 102, p. 71-74, 2019.

VASHISHT, D.; PANDEY, A.; KUMAR, K. J. Physicochemical and release properties of carboxymethylated starches of *Dioscorea* from Jharkhand. **International journal of biological macromolecules**, v. 74, p. 523-529, 2015.

VEASEY, E. A.; SIQUEIRA; M. V. B. M.; GOMES, L. D. R.; NASCIMENTO, W. F. D.; FERREIRA, A. B.; SILVA, D. M. D.; ...; SANTOS, A. H. D. Ocorrência e diversidade de espécies cultivadas do gênero *Dioscorea* em diversos agroecossistemas brasileiro. **Agrobiodiversidade no Brasil: experiências e caminhos da pesquisa**, 2010.

VEGA-MERCADO, H.; GÓNGORA-NIETO, M. M.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Advances in dehydration of foods. **Journal of food engineering**, v. 49, n. 4, p. 271-289, 2001.

VODOVOLTZ, Y.; BOURLAND, C. Preservation methods utilized for space food. In: **Engineering and Food for the 21st Century**. CRC Press, 2002. p. 1023-1036.

WANG, C.; LIU, S.; WU, J.; LI, Z. Effects of temperature-dependent viscosity on fluid flow and heat transfer in a helical rectangular duct with a finite pitch. **Brazilian Journal Chemical Engineering** v.31, p.787-797, 2014.

WANG, R.; LI, X.; LIU, L.; CHEN, W.; BAI, J.; MA F., ...; KANG, W. Preparação e caracterização de filmes comestíveis compostos por *Dioscorea opposita* Thunb. mucilagem e amido. **Teste de polímero**, v. 90, p. 106-708, 2020.

WANG, Y.; ZHANG, L.; LI, X.; GAO, W. Physicochemical properties of starches from two different yam (*Dioscorea opposita*Thunb.) residues. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 54, n. 2, p. 243-251, 2011.

WILLIAMS, P. A.; PHILLIPS, G. O. Introduction to food hydrocolloids. In: **Handbook of hydrocolloids**. Woodhead Publishing, 2009. p. 1-22.

- WOJDYŁO, A., FIGIEL, A., LECH, K., NOWICKA, P., OSZMIANÓSKI, J. Effect of convective and vacuum–microwave drying on the bioactive compounds, color, and antioxidant capacity of sour cherries. **Food and Bioprocess Technology**, v. 7, n. 3, p. 829–841, 2013.
- WROLSTAD, R. E.; DURST, R. W.; LEE, J. Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 16, n. 9, p. 423–428, 2005.
- WROLSTAD, R.E. Anthocyanin pigments – bioactivity and coloring properties. **Journal of Food Science**, 69, C419–C421, 2004.
- XIAO H. W.; YAO X. D.; LIN H.; YANG W. X.; MENG J. S.; GAO Z. J. Effect of SSB (superheated steam blanching) time and drying temperature on hot air impingement drying kinetics and quality attributes of yam slices. **Journal Food Process Engineering**, v.35, p.370–90, 2013.
- YAMAGUISHI, C. T. **Processo biotecnológico para a produção de feijão desidratado com baixo teor de oligossacarídeos da família rafinose**. 147 p. Dissertação (Mestre em Processos Biotecnológicos). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- YOSHIDA, K.; KONDO, T.; GOTO, T. Unusually stable monoacylated anthocyanin from purple yam *Dioscorea alata*. **Tetrahedron letters**, v. 32, n. 40, p. 5579–5580, 1991.
- YU JU, H.; LAW, C. L.; FANG, X. M.; XIAO, H. W.; LIU, Y. H.; GAO, Z. J. Drying kinetics and evolution of the sample's cre temperature and moisture distribution of yam slices (*Dioscorea alata* L.) during convective hot-air drying. **Drying Technology**, v.34, p.1297–1306, 2016.
- ZHANG, J.; TIAN, H.; ZHAN, P.; DU, F.; ZONG, A.; XU, T. Isolation and identification of phenolic compounds in Chinese purple yam and evaluation of antioxidant activity. **LWT**, v. 96, p. 161–165, 2018.
- ZHANG, L.; ZUO, B., WU, P., WANG, Y., GAO, W. Ultrasound effects on the acetylation of dioscorea starch isolated from *Dioscorea zingiberensis* CH Wright. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 54, p. 29–36, 2012.
- ZHANG, M.; TANG, J.; MUJUMDAR, A. S.; WANG, S. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, v. 17, n. 10, p. 524–534, 2006.
- ZHAO, C.; LI, X.; MIAO, J.; JING, S.; LI, X.; HUANG, L.; GAO, W. The effect of different extraction techniques on property and bioactivity of polysaccharides from *Dioscorea hemsleyi*. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 102, p. 847–856, 2017.
- ZOTARELLI, M. F.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by Refractance Window. **Food Research International**, v. 69, p. 410–417, 2015.