

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Faculdade de Nutrição**  
**Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Alimentos**



Dissertação

**Encapsulação de extrato da casca de jabuticaba em fibras de amido de semente de abacate pela técnica de *electrospinning*: desenvolvimento, caracterização e aplicação**

**Diego Araujo da Costa**

Pelotas, 2024

**Diego Araujo da Costa**

**Encapsulação de extrato da casca de jabuticaba em fibras de amido de semente de abacate pela técnica de *electrospinning*: desenvolvimento, caracterização e aplicação**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Alimentos da Faculdade de Nutrição da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Nutrição e Alimentos.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carla Rosane Barboza Mendonça

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elessandra da Rosa Zavareze

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rosana Colussi

Pelotas, 2024

## Catálogo

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catálogo da Publicação

C837e Costa, Diego Araujo da

Encapsulação de extrato da casca de jabuticaba em fibras de amido de semente de abacate pela técnica de electrospinning [recurso eletrônico] : desenvolvimento, caracterização e aplicação / Diego Araujo da Costa ; Carla Rosane Barboza Mendonça, orientadora ; Eleessandra da Rosa Zavareze, Rosana Colussi, coorientadoras. — Pelotas, 2024.  
76 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Alimentos, Faculdade de Nutrição, Universidade Federal de Pelotas, 2024.

1. Antocianinas. 2. Bioacessibilidade. 3. Compostos bioativos. 4. Iogurte. I. Mendonça, Carla Rosane Barboza, orient. II. Zavareze, Eleessandra da Rosa, coorient. III. Colussi, Rosana, coorient. IV. Título.

CDD 641.1

Elaborada por Simone Godinho Maisonave CRB: 10/1733

Diego Araujo da Costa

Encapsulação de extrato da casca de jabuticaba em fibras de amido de semente de abacate pela técnica de *electrospinning*: desenvolvimento, caracterização e aplicação

Dissertação aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Nutrição e Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Alimentos, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 01/03/2024

Banca examinadora:

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Carla Rosane Barboza Mendonça (orientadora). Doutora em Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Caroline Dellinghausen Borges. Doutora em Biotecnologia Agrícola pela Universidade Federal de Pelotas.

Dr.<sup>a</sup>. Francine Tavares da Silva. Doutora em Ciência e tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas.

Dr.<sup>a</sup>. Mariane Igansi Alves. Doutora em Ciência e tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas.

## **Agradecimentos**

A Deus.

A minha mãe Oroti Araujo da Costa, pela torcida durante a seletiva de mestrado e pelo apoio incondicional para que fosse possível a realização desse trabalho. Ao meu amor, Fabris Cardoso Prestes, pelo carinho, companheirismo e apoio durante o todo o mestrado, que me colocou em vários desafios, mas ele sempre esteve me apoiando.

A minha orientadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carla Rosane Barboza Mendonça, por ter me acolhido tão bem no Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Alimentos (PPGNA), por todos os ensinamentos durante esses dois anos de mestrado e por toda dedicação para me auxiliar, desde a ideia inicial do meu projeto até a execução das atividades no laboratório, por sempre me incentivar nos dias ruins e por todos os conselhos profissionais durante o período que convivemos no mestrado.

A minha coorientadora, Prof. Dr<sup>a</sup>. Elessandra da Rosa Zavareze, por também ter me acolhido no seu laboratório, pela segunda vez, durante minha trajetória acadêmica, por compartilhar o equipamento que foi fundamental para a produção de todo meu experimento de mestrado.

A minha coorientadora, Dr<sup>a</sup> Rosana Colussi, por sempre ter uma forma de me incentivar nos dias ruins e por todas as trocas durante o período que convivemos no mestrado.

Aos demais professores do PPGNA, que de alguma forma contribuíram para o meu desenvolvimento e crescimento como pesquisador.

A banca avaliadora, composta pela Prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Caroline, Dr<sup>a</sup>. Francine e pela Dr<sup>a</sup>. Mariane, pelas contribuições e conselhos sobre o meu trabalho. Com certeza, esses novos olhares ajudaram no enriquecimento e crescimento do meu tema de pesquisa.

As minhas colegas de laboratório, Gabriela, Katiele, Larissa e Sabrina com quem dividi praticamente todos os meus dias, obrigado pelas trocas de conhecimento e pelos cafés, bolos, mates e conversas diárias.

Um agradecimento especial a Victoria e a Raphaelly que me auxiliaram durante todo meu experimento de mestrado, obrigado.

A Andressa por dividir esse trajeto comigo, o que com certeza o tornou mais leve, por encarar horas de estudo, e as madrugadas pelo campus fazendo análises e obrigado pela linda e sincera amizade que temos hoje.

A Raquel e a Bruna, por todos os conselhos, por estarem sempre disponíveis para ir de madrugada ou por ficar até a meia noite no DCTA, coletando as fibras comigo, obrigado pela amizade e parceria.

A Universidade Federal de Pelotas e ao PPGNA pela oportunidade de desenvolvimento e conclusão do mestrado e também de ampliar minha qualificação pessoal e profissional. E a todos que de alguma forma contribuíram para realização desse trabalho e puderam tornar a caminhada mais leve, muito obrigado pelo carinho!

## Resumo

COSTA, Diego Araujo. **Encapsulação de extrato da casca de jabuticaba em fibras de amido de semente de abacate pela técnica de *electrospinning*: desenvolvimento, caracterização e aplicação.** Orientadora: Carla Rosane Barboza Mendonça. 2024. 76p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Alimentos), Faculdade de Nutrição, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2024.

Os extratos vegetais ricos em antocianinas podem ser uma boa alternativa para aplicação em alimentos, devido a sua atividade antioxidante, contudo, as antocianinas são pigmentos muito instáveis e podem ser degradadas durante o processamento. O objetivo deste trabalho foi encapsular extrato da casca de jabuticaba pela técnica de *electrospinning*, utilizando amido obtido da semente do abacate como material de parede e avaliar a aplicação em uma matriz alimentar. As soluções poliméricas de amido da semente de abacate foram preparadas nas concentrações de 10, 20 e 30% em ácido fórmico 75%, e agitadas por 24 h, para garantir a completa gelatinização do amido. Após definir a melhor concentração de amido, houve a incorporação do extrato de jabuticaba. Concentrações de extrato de 3, 6 e 9% foram utilizadas, em relação ao peso de amido, e avaliadas a morfologia e a dimensão das fibras, através de microscopia eletrônica de varredura; presença de grupos funcionais por espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier, análise termogravimétrica, eficiência de carregamento, atividade antioxidante por captura dos radicais DPPH e ABTS, e compostos fenólicos totais. As fibras com melhores características foram aplicadas em iogurte, sendo realizados estudos de bioacessibilidade dos compostos fenólicos. O extrato apresentou teor de compostos fenólicos totais e antocianinas totais de 1.050,16 mgGAE.g<sup>-1</sup> e 294,53 mg. g<sup>-1</sup>, respectivamente, e demonstrou capacidade de eliminação dos radicais livres ABTS e DPPH de 93,00 e 53,61%, respectivamente. As fibras ultrafinas apresentaram morfologia lisa, contínua e uniforme, com diâmetros médios que variaram de 188 à 328 nm, sendo a eficiência de encapsulação acima de 50% e resistência térmica até, aproximadamente, 300 °C. As fibras de amido da semente de abacate com extrato encapsulado exibiram atividade antioxidante frente aos radicais livres ABTS, DPPH e teor de compostos fenólicos entre 206 e 260 mgGAE.g<sup>-1</sup>, aumentando com o teor de extrato nas fibras. A bioacessibilidade de compostos fenólicos aumentou significativamente na fase intestinal por meio da técnica de encapsulação.

**Palavras-chave:** Antocianinas; Bioacessibilidade; Compostos bioativos; iogurte.

## Abstract

COSTA, Diego Araujo. **Encapsulation of jabuticaba peel extract in avocado seed starch fibers by the electrospinning technique: development, characterization, and application.** Advisor: Carla Rosane Barboza Mendonça. 2024. 76p. Dissertation (Graduate Program in Nutrition and Food), Faculty of Nutrition, Federal University of Pelotas, Pelotas. 2024.

Plant extracts rich in anthocyanins can be a good alternative for application in food, due to its antioxidant activity, however, anthocyanins are very unstable pigments and can be degraded during processing. The objective of this work was to encapsulate extract from the bark of jabuticaba using the electrospinning technique and starch obtained from the seed of avocado as wall material, in addition evaluate the application in a food matrix. To the polymeric solutions of avocado seed starch were prepared in concentrations of 10, 20 and 30% in 75% formic acid, and stirred for 24 hours, to ensure complete gelatinization of the starch. After defining the best starch concentration, the jabuticaba extract was incorporated. Extract concentrations of 3, 6 and 9% were tested, in relation to the weight of starch, and the morphology and size of the fibers were evaluated using microscopy scanning electronics; contact angle; infrared spectroscopic profile with Fourier transform; thermogravimetric analysis; encapsulation efficiency; antioxidant activity by capturing DPPH and ABTS radicals; phenolic compounds totals. The fiber with the best characteristics was applied to yogurt, with bioaccessibility studies of phenolic compounds. The extract presented a content of total phenolic compounds and total anthocyanins equal to 1050,16 and 294.53 mg. g<sup>-1</sup>, respectively, and demonstrated the ability to scavenge free radicals ABTS and DPPH of 93.00 and 53.61%, respectively. The ultrafine fibers presented smooth, continuous and uniform morphology, with average diameters that varied between 328 and 188 nm, with encapsulation efficiency above 50% and thermal resistance up to approximately 300 °C. The starch fibers of the avocado seed with encapsulated extract exhibited antioxidant activity against free radicals ABTS, DPPH and phenolic compound content between 206 and 260 mgGAE.g<sup>-1</sup>, increasing with the extract content in the fibers. The bioaccessibility of phenolic compounds significantly increased in the intestinal phase through the encapsulation technique.

**Keywords:** Anthocyanins; Bioaccessibility; Bioactive compounds; Yogurt.



## Lista de Figuras

Figura 1 - Esquema do processo de formação das fibras por <i>electrospinning</i> .....	17
Figura 2 - Estrutura da amilose e da amilopectina (a) estrutura da amilose [polímero linear composto por D-glicoses unidas em $\alpha$ -(1-4)], (b) Estrutura da amilopectina [polímero ramificado composto por D-glicoses unidas em $\alpha$ -(1-4) e $\alpha$ -(1-6)].....	19
Figura 3 - Morfologia das fibras de amido da semente de abacate com diferentes concentrações de extrato da casca de jabuticaba .....	42
Figura 4 - Distribuição de tamanho das fibras de amido da semente de abacate com diferentes concentrações de extrato da casca da jabuticaba (ECJ).....	43
Figura 5 - Espectros FTIR do extrato da casca da jabuticaba não encapsulado, do amido da semente de abacate e das fibras de amido com diferentes concentrações de extrato da casca de jabuticaba .....	45
Figura 6 - Curvas de perda de massa por TGA do extrato da casca da jabuticaba não encapsulado, do amido da semente de abacate puro e das fibras ultrafinas de amido com diferentes concentrações de extrato da casca da jabuticaba. ....	48
Figura 7 - Teor de composto fenólicos bioacessível nas fases oral, gástrica e intestinal .....	54

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Delineamento experimental para a produção e avaliação das fibras com amido de semente de abacate, contendo diferentes teores de extrato de casca de jabuticaba .....	26
Tabela 2 - Delineamento experimental para aplicação das fibras em iogurte, e bioacessibilidade dos compostos bioativos nas fases oral, gástrica e intestinal através da digestibilidade <i>in vitro</i> .....	26
Tabela 3 - Parâmetros para a produção de fibras ultrafinas de amido da semente de abacate com diferentes concentrações de extrato da casca de jabuticaba por <i>electrospinning</i> .....	31
Tabela 4 - Composição dos fluidos utilizados nas análises de digestibilidade <i>in vitro</i> .....	35
Tabela 5 - Parâmetros reológicos K e $\eta$ , obtidos por ajuste com modelo matemático de Ostwald de Waele .....	40
Tabela 6 - Bandas de absorção do extrato da casca de jabuticaba puro, do amido da semente de abacate e das fibras de amido com as concentrações de 0, 3, 6 e 9% (m/m) extrato da casca de jabuticaba .....	46
Tabela 7 - Propriedades térmicas do extrato da casca de jabuticaba encapsulado e não encapsulado, do amido da semente de abacate e das fibras de amido da semente de abacate com diferentes concentrações de extrato da casca da jabuticaba .....	49
Tabela 8 - Eficiência de carregamento após o processo de <i>electrospinning</i> para as fibras de amido da semente de abacate com diferentes concentrações de extrato da casca de jabuticaba.....	51
Tabela 9 - Compostos fenólicos e atividades antioxidantes das fibras de amido da semente de abacate carregadas com extrato da casca da jabuticaba com diferentes concentrações frente aos radicais ABTS e DPPH.....	52
Tabela 10 - Efeito da atividade antioxidante sobre a porcentagem de inibição de radical ABTS.....	56

### Lista de abreviaturas e siglas

$\mu\text{gGAE.mL}^{-1}$	micrograma de ácido gálico por microlitro
$\mu\text{L}$	Microlitro
$\mu\text{m}$	Micrômetro
$\mu\text{M}$	micro mol
$\mu\text{S}$	microSiemens
Abs	absorbância
ABTS	radical 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin) 6-ácido sulfônico
DPPH	radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazilo
$\text{g.mol}^{-1}$	gramas por mol
HPLC	cromatografia líquida de alta eficiência
kV	Quilovolt
MEV	microscopia eletrônica de varredura
$\text{mg.g}^{-1}$	miligrama por grama
Nm	nanômetros
NaOH	hidróxido de sódio
p/p	peso por peso
p/v	peso por volume
TGA	análise termogravimétrica
UFC	unidade formadora de colônia
v/v	volume por volume

## Sumário

<b>1 Introdução.....</b>	<b>13</b>
1.1 Hipóteses .....	14
1.2 Objetivos e metas .....	14
1.2.1 Objetivo geral.....	14
1.2.2 Objetivos específicos .....	14
1.2.3 Metas .....	15
<b>2 Revisão de literatura .....</b>	<b>16</b>
2.1 Produção de fibras pela técnica de <i>electrospinning</i> .....	16
2.2 Amido .....	19
2.3 Semente de abacate .....	20
2.4 Jabuticaba.....	21
2.5 Bioacessibilidade .....	22
<b>3 Materiais e métodos .....</b>	<b>25</b>
3.1 Materiais .....	25
3.2 Delineamento experimental .....	25
3.3 Obtenção do extrato da casca de jabuticaba .....	26
3.4 Análises do extrato da casca da jabuticaba .....	27
3.4.1 Cor .....	27
3.4.2 Antocianinas totais.....	28
3.4.3 Atividade antioxidante por ABTS .....	28
3.4.4 Atividade antioxidante por DPPH.....	29
3.4.5 Compostos fenólicos totais .....	29
3.4.6 Teor de vitamina C.....	29
3.5 Preparado das soluções poliméricas .....	30
3.5.1 Viscosidade e condutividade elétrica da solução polimérica .....	30
3.6 Produção de fibras pela técnica de <i>electrospinning</i> .....	30
3.6.1 Morfologia e distribuição de tamanho das fibras (MEV).....	31
3.6.2 Perfil espectroscópico na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) .....	31
3.6.3 Análise termogravimétrica (TGA).....	32
3.6.4 Eficiência de carregamento .....	32
3.6.5 Atividade antioxidante das fibras carregadas com extrato da casca da jabuticaba por ABTS e DPPH .....	33
3.6.6 Compostos fenólicos totais das fibras carregadas com extrato da casca da jabuticaba .....	33
3.7 Aplicação das fibras em iogurte natural .....	34

3.7.1 Digestibilidade <i>in vitro</i> .....	34
3.7.2 Bioacessibilidade de compostos fenólicos .....	36
3.7.3 Atividade antioxidante por ABTS após digestibilidade <i>in vitro</i> .....	36
<b>4 Resultados e Discussão .....</b>	<b>37</b>
4.1 Análises do extrato da casca de jabuticaba .....	37
4.1.1 Cor .....	37
4.1.2 Antocianinas totais .....	37
4.1.3 Capacidade antioxidante frente aos radicais ABTS e DPPH .....	38
4.1.5 Teor de vitamina C .....	39
4.2 Caracterização das soluções poliméricas .....	40
4.2.1 Morfologia e distribuição de tamanho das fibras de amido da semente de abacate (MEV) .....	41
4.2.2 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier .....	44
4.2.3 Análise termogravimétrica .....	48
4.2.4 Eficiência de carregamento .....	50
4.2.5 Atividade antioxidante das fibras da semente de abacate por ABTS e DPPH e compostos fenólicos totais .....	52
4.2.6 Bioacessibilidade de compostos fenólicos .....	53
4.2.7 Capacidade de eliminar o radical ABTS após simulação <i>in vitro</i> .....	56
<b>Conclusões .....</b>	<b>58</b>
<b>Referências .....</b>	<b>59</b>

## 1 Introdução

O extrato da casca de jabuticaba é rico em compostos fenólicos, com destaque para as antocianinas, ácidos fenólicos e outros, sendo considerado fonte de fibras e minerais, principalmente ferro, potássio, magnésio e manganês, apresenta também outros compostos bioativos, que lhe conferem atividade antioxidante (Lima *et al.*, 2019). As antocianinas são pigmentos amplamente distribuídos pela natureza, pertencentes ao grupo dos flavonoides e presente em diversos vegetais, sendo as principais responsáveis pela coloração de frutas, flores e folhas que variam do vermelho ao azul púrpura (Coisson *et al.*, 2005).

O uso de extratos vegetais ricos em antocianinas é uma boa alternativa para aplicação em alimentos, devido a sua atividade antioxidante, contudo, as antocianinas são pigmentos muito instáveis diante de vários fatores, como a luz, pH e altas temperaturas, e podem ser degradadas durante o processamento (Lima *et al.*, 2002; Lima *et al.*, 2005). Uma forma de manter e proteger a atividade bioativa deste composto é através da microencapsulação, esta técnica além de oferecer proteção possibilita a liberação de forma controlada (Favaro-Trindade; Pinho; Rocha, 2008).

A microencapsulação pode ser feita através da técnica de *electrospinning*, a qual apresenta opções de encapsulação em escala nano ou micrométrica, e mostra vantagens para preservação dos compostos bioativos quando comparada a outros métodos de encapsulação, pois não utiliza altas temperaturas, apresenta alta eficiência de encapsulação e produz materiais com diâmetro reduzido (Evangelho *et al.*, 2019). Ainda, permite a utilização de biopolímeros naturais como material de parede, e o solvente utilizado é totalmente evaporado (Fonseca *et al.*, 2019).

A utilização de materiais poliméricos biodegradáveis, para nano ou microencapsulação, por meio da técnica de *electrospinning* tem sido muito estudada. Dentre os biopolímeros utilizados, o amido tem destaque, por ser abundante nos vegetais, ser biodegradável, seguro e de baixo custo (Chen *et al.*, 2017; Mendes; Stephansen; Chronakis, 2017).

A semente de abacate é um resíduo industrial, obtido principalmente da extração de óleo, que em estudos prévios realizados pelo grupo de pesquisa mostrou potencial para extração de amido (Frasson *et al.*, 2023). Pelas características que o amido de abacate apresenta e, principalmente, pelo seu alto teor de amilose, esta matéria prima

possui características promissoras para o emprego como material de parede para proteção de extratos vegetais pela técnica de *electrospinning*. Contudo, se desconhecem relatos na literatura sobre a aplicação de fibras produzidas a partir do amido da semente de abacate em matrizes alimentares, carregadas de compostos bioativos e antioxidantes, em especial descrevendo a bioacessibilidade dos compostos encapsulados.

## **1.1 Hipóteses**

O amido da semente de abacate pode ser um bom material de parede para encapsular extrato de casca de jabuticaba, através da técnica de *electrospinnig*, pois forma fibras de pequenas dimensões, que ampliam a proteção dos compostos bioativos e viabilizam sua aplicação em uma matriz alimentar. O extrato da casca da jabuticaba é rico em compostos bioativos e pode representar uma fonte interessante para enriquecer alimentos.

## **1.2 Objetivos e metas**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Utilizar amido obtido da semente de abacate como material polimérico de parede para produção de fibras, por meio de *electrospinning*, carregá-las com diferentes teores de extrato da casca de jabuticaba, avaliar as características das fibras, aplicar em um iogurte natural e determinar a bioacessibilidade através da digestibilidade *in vitro*.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Avaliar a viabilidade de aplicação do amido da semente de abacate para produção de fibras por *electrospinning*;
- Produzir um extrato rico em antocianinas, a partir da casca da jabuticaba e caracterizar quanto as propriedades bioativas;
- Obter fibras poliméricas da semente de abacate carregadas com diferentes teores de extrato de casca de jabuticaba;

- Avaliar as características estruturais, de estabilidade e bioatividade das fibras produzidas;
- Aplicar as fibras carregadas com o extrato de jabuticaba em iogurte e avaliar a liberação dos compostos fenólicos e a capacidade antioxidante nas diferentes fases da digestibilidade *in vitro*.

### **1.2.3 Metas**

Tem-se como meta a produção de conhecimento em relação a aplicação do amido de semente de abacate na obtenção de fibras poliméricas, que possam carrear extrato rico em antocianinas, pela técnica de *electrospinnig*, bem como, identificar os efeitos exercidos pela fibra na bioacessibilidade de compostos com capacidade antioxidante quando aplicadas em iogurte natural.



## 2 Revisão de literatura

### 2.1 Produção de fibras pela técnica de *electrospinning*

O processo de *electrospinning* é uma técnica adequada e atualizada para a produção de fibras com diâmetro reduzido, sendo desenvolvida na primeira metade do século XX, e vem se tornando atrativa nos últimos anos, devido sua capacidade de produzir fibras poliméricas em escala nano ou micrométrica. Essa é uma técnica versátil para encapsulação de compostos bioativos, sendo capaz de proteger esses compostos frente fatores ambientais aos quais são sensíveis, como temperatura, luz, oxigênio e umidade, ou para mascarar aspectos sensoriais indesejáveis (García-Moreno *et al.*, 2018; Lim; Mendes; Chronakis, 2019).

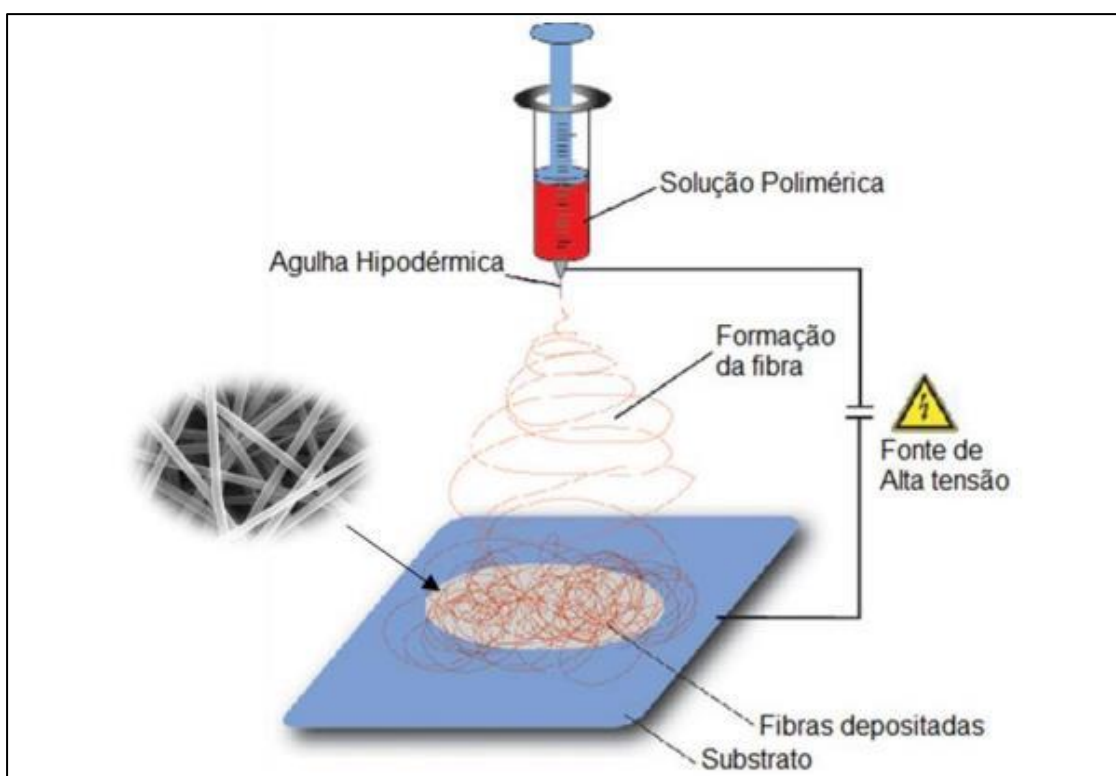
De forma geral, a técnica de *electrospinnig* ou eletrofiação é um processo eletrohidrodinâmico, que tem como efeito a movimentação de um fluido, por meio da aplicação de um campo eletrostático (Costa *et al.*, 2012). No decorrer da eletrofiação são aplicadas forças de cisalhamento nas cadeias poliméricas da solução, ocorrendo assim a evaporação do solvente e tornando sólido o fluido, no momento em que ele chega até o coletor. O solvente é o mais importante dos fatores para obtenção das fibras, pois o mesmo vai evaporar e neste momento, levará a deposição do polímero sólido no coletor, na forma de uma rede, assim as fibras são orientadas aleatoriamente (Kim, Huber, 2013; Salles, 2013; Yu *et al.*, 2008).

O processo de *electrospinning* envolve, de forma geral, uma estação de *electrospinning*, conforme ilustrado na Figura 1 e consiste, basicamente, em uma fonte de alta voltagem, uma bomba infusora com uma seringa (capilar) e um coletor, embora existam adaptações no equipamento, o princípio de funcionamento não é alterado (Alves, 2008). No processo de formação de fibras, um campo elétrico se estabelece entre a agulha metálica da seringa e o coletor, devido aos eletrodos com cargas opostas, um positivo conectado a seringa e um negativo conectado ao coletor, que são separados por uma distância, denominada distância de trabalho.

Desta maneira, a solução polimérica acomodada na seringa é ejetada pela agulha a uma taxa de injeção constante, assim formando um formato de cone, na ponta da agulha. Devido à tensão superficial do líquido, quando o campo elétrico atinge um valor crítico, a força elétrica supera a tensão superficial do líquido e então

um jato carregado de solução é ejetado da ponta da agulha, assim o fluido polimérico sai como filamentos contínuos, pela diferença das cargas entre a agulha e o coletor, formando na ponta da agulha uma forma cônica, que se desloca até o coletor e durante o percurso. O solvente é evaporado, diminuindo gradativamente o diâmetro da fibra polimérica formada, isto ocorre em função da atração e do transporte da solução polimérica pela evaporação do solvente utilizado (Wannatong; Sirivat; Supaphol, 2004; Yördem; Papila; Menceloğlu, 2008; Bhardwaj; Kundu, 2010; Costa *et al.*, 2012; Salles, 2013; Kim *et al.*, 2015; Lauricella *et al.*, 2015; Fuh *et al.*, 2016).

Figura 1 - Esquema do processo de formação das fibras por *electrospinning*.



Fonte: Gomes, 2018, p.33.

A técnica de *electrospinning* é capaz encapsular compostos bioativos frente a fatores desfavoráveis, como a presença da luz, oxigênio, temperatura e umidade; tornar as moléculas mais biodisponíveis; mascarar os odores e sabores indesejáveis e possibilitar uma liberação de forma controlada, em que os compostos aprisionados nas fibras são liberados de forma gradual para o meio (Echegoyen *et al.*, 2017; Rostami *et al.*, 2019; Niu *et al.*, 2020; Rostamabadi *et al.*, 2020; Premjit *et al.*, 2022).

Para que ocorra a preservação dos compostos bioativos pelo processo de *electrospinning* é necessário um material de parede, que pode ser um biopolímero natural, sintético ou até mesmo a união de ambos (Papenburg *et al.*, 2009).

O amido é uma possível alternativa na produção de nanofibras ou fibras ultrafinas, o polímero que tem ganhado destaque e ao mesmo tempo despertado curiosidade na obtenção de fibras por *electrospinning*, por apresentar custo reduzido, fácil acesso e versatilidade (Fonseca *et al.*, 2019).

Aplicações dessa técnica já foram relatadas para a produção de fibras por Fonseca *et al.* (2019) que encapsularam carvacrol em nanofibras de amido de batata, a atividade do carvacrol encapsulado pela técnica, indicando uma maior estabilidade e aumento da atividade antioxidante, em relação ao não encapsulado. As nanofibras com 30% de carvacrol demonstraram resultados positivos, reduzindo o crescimento de *Listeria minicytogenes*, *Salmonella. Typhimurium*, *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus* em 89, 68, 62, e 49% respectivamente. Assim, os achados evidenciaram que o amido é um polímero com excelente potencial para proteção e manutenção de compostos pela técnica de *electrospinning*.

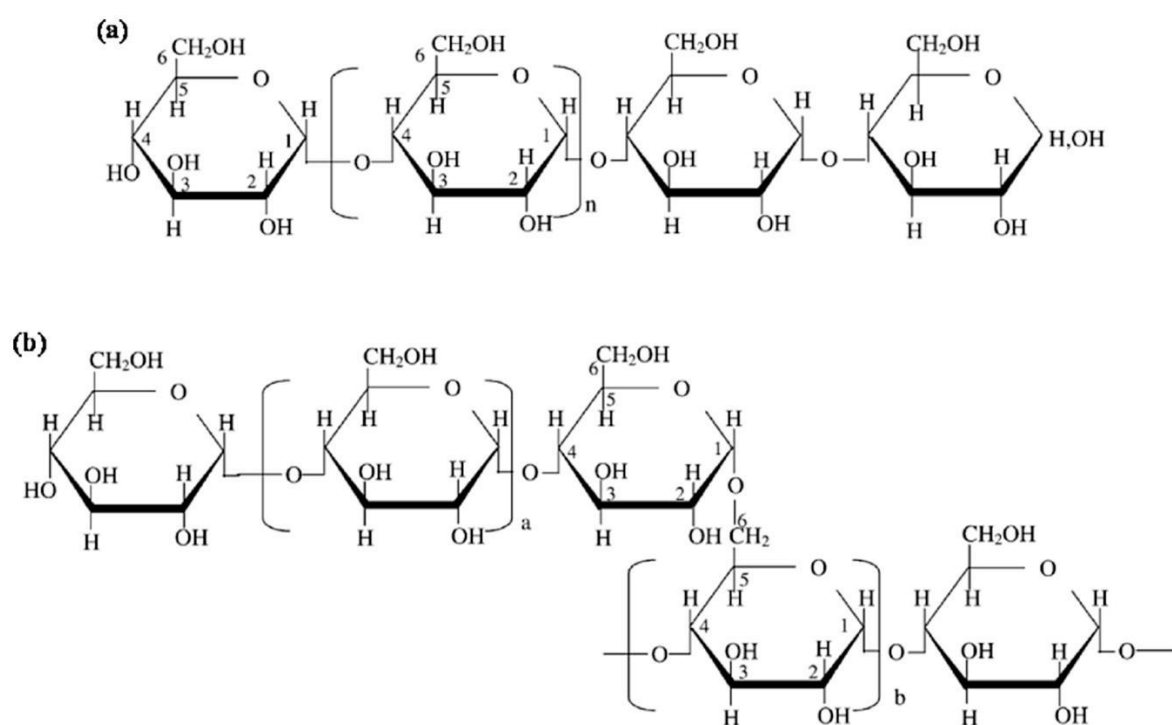
Pires *et al.* (2022) utilizaram como material de parede o amido de batata, para produzir fibras e cápsulas carregadas com curcumina, mostrando que os materiais produzidos por meio desta técnica apresentam boa resistência termogravimétrica superior a 70 C° e preservação de compostos antioxidantes.

Aplicações dessa técnica também foram relatadas para a produção de fibras ultrafinas com a utilização do amido de batata doce amarela e branca, como material de parede, para encapsulação de extrato de cebola roxa. O amido como material de parede apresentou boa resistência a temperaturas mais elevadas até sua degradação, quando comparado ao extrato sem proteção, perfil morfológico distintos sem a presença de *beads*. O uso de extrato vegetal apresentou atividade inibitória frente a *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus* e alta atividade antioxidante com 97,97 e 84,94% de capacidade de eliminação dos radicais ABTS (2,2-azino-bis(3-ethylbenzo thiazoline-6-sulfonic acid) ABTS e DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil), respectivamente (Da Cruz *et al.*, 2023).

## 2.2 Amido

O amido é um biopolímero natural formado por amilose e amilopectina, resultantes da união de moléculas de glicose por ligações glicosídicas (Abdillahi *et al.*, 2013). A estrutura química da amilose é formada por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4, dando origem a uma cadeia linear, já a amilopectina é quimicamente formada por unidades de glicose  $\alpha$ -1,4 e  $\alpha$ -1,6, sendo assim uma estrutura com ramificações (Figura 2).

Figura 2 - Estrutura da amilose e da amilopectina (a) estrutura da amilose [polímero linear composto por D-glicoses unidas em  $\alpha$ -(1-4)], (b) Estrutura da amilopectina [polímero ramificado composto por D-glicoses unidas em  $\alpha$ -(1-4) e  $\alpha$ -(1-6)]



Fonte: Amagliani *et al.* (2016).

As diferentes formas estruturais do amido estão relacionadas às distintas fontes, espécies e ao grau de maturação da planta em que o amido é extraído (Eliasson, 2004; Tester; Karkalas; Qi, 2004). No entanto, sua aplicação está diretamente relacionada com o teor de amilose e amilopectina, grau de cristalinidade, forma física e tipos de processamento (Moreira *et al.* 2013; Oliveira *et al.*, 2016).

A utilização de amido nas indústrias tem sido ampliada com o aperfeiçoando das aplicações, sendo as principais como agente espessante ou estabilizante no

processamento de alimentos, na indústria têxtil, de petróleo ou na produção de embalagens biodegradáveis (Silva *et al.*, 2006; Dias *et al.*, 2011). No entanto, outra possibilidade de aplicação é na produção de nanofibras ou fibras ultrafinas (Da Cruz *et al.*, 2023).

As fontes que têm sido mais utilizadas para obtenção do amido são a mandioca, o milho, a batata e o arroz (Da Cruz *et al.*, 2023); todavia fontes alternativas têm sido amplamente estudadas, como o caroço do abacate, que apresentou potencial para extração de amido e sua utilização em pesquisas realizadas por Frasson *et al.*, (2023).

### 2.3 Semente de abacate

O abacateiro é uma árvore que é cultivada em quase todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo (Souza; Pimentel; Oliveira Junior, 2012). Contudo, somente a polpa do abacate é consumida, não sendo feito o aproveitamento da casca e da semente no processamento industrial da fruta, resultando em uma grande quantidade de resíduos (De Miranda; Reck; Clemente, 2016).

A semente do abacate representa, em média, 25% do peso total do fruto, sendo um parâmetro influenciado pela variedade (Bora *et al.*, 2001). A proporção de polpa, casca e semente observada no Abacate 'Hass' é de, respectivamente, 58, 71, 28,13 e 13,16%, segundo Daiuto *et al.* (2010).

A semente de abacate apresenta em sua composição aproximadamente 70% dos aminoácidos que estão presentes na fruta, sendo rico em fibras solúveis e amido (Nascimento *et al.*, 2016). Sua composição centesimal, dependendo da variedade do abacate, mostra de 51 a 58% de água, 29% de amido, 5 a 5,5% de lipídios, 2 a 4% de açúcares, 2 a 2,5% de proteínas e aproximadamente 1% de cinzas (Oliveira; Guimarães; Menezes, 2017).

Segundo Chel-Guerrero *et al.* (2016), a semente de abacate apresenta teores de compostos polifenólicos e de taninos que mostram boa atividade antioxidante, tornando este resíduo interessante para ser utilizado como fonte de complementos alimentares e em medicamentos, ainda este reaproveitamento contribui para diminuir os impactos ambientais (De Miranda; Reck; Clemente, 2016). E ainda segundo Araújo *et al.* (2020), a semente possui em sua composição cerca de 30% de amido, tornando-se uma fonte promissora para as indústrias, com possibilidade uma vasta gama de aplicações.

Na literatura há escassez de relatos sobre amido de semente de abacate utilizado como um polímero encapsulante, portanto, uma possível finalidade é utilizar o amido oriundo dessa matéria-prima como material de parede para preservação e manutenção de compostos bioativos.

## 2.4 Jabuticaba

A jabuticaba (*Plinia trunciflora*) é um fruto tropical de cor roxa escura, que apresenta valor nutricional de 58,1 Kcal, por possuir elevada quantidade de carboidratos, fibras, vitaminas e sais minerais, como ferro, cálcio e fósforo, além de compostos bioativos, principalmente, em sua casca (Ascheri; Ascheri; Carvalho, 2006). No processamento industrial, a casca da jabuticaba corresponde de 30 a 43% do peso do fruto, gerando um grande volume de resíduos industriais (Lima *et al.*, 2008).

Desde o ano de 2006, tem se notado que diversos pesquisadores vêm pesquisando sobre este fruto, em relação aos possíveis efeitos à saúde e seu potencial como alimento funcional, em especial avaliando o perfil de compostos fenólicos. Estudos demonstram que a jabuticaba, especificamente as espécies *Plinia cauliflora* e *Plinia jabuticaba*, apresentam importante atividade biológica, com destaque para atividade antioxidante, a qual tem sido atribuída principalmente aos flavonóis e antocianinas, que estão concentrados, em sua grande maioria, na casca da fruta (Reynertson *et al.*, 2006; Wu; Xing; Lou, 2010; Leite-Legatti *et al.*, 2012).

Elevadas concentrações de polifenóis foram encontradas na casca do fruto por Lima *et al.* (2008), chegando a valores 25 vezes maiores do que os verificados na polpa do fruto ( $0,49 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ) de polifenóis na polpa e  $11,99 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  na casca (Lima *et al.* 2008). As antocianinas desempenham importantes funções na prevenção da degeneração das células, previnem a ocorrência diversas de doenças cardiovasculares, atuam como antioxidantes, anti-inflamatórios e anticancerígenos (Valls *et al.*, 2009). Na indústria alimentícia esse pigmento tem sido empregado como corante, por melhorar aspectos visuais, como a cor e aparência dos alimentos, influenciando diretamente na decisão do consumidor e na sua percepção de qualidade (Favaro, 2007).

Como mencionado anteriormente, o uso de extratos ricos em antocianinas tem crescido na área industrial, com forte destaque para substituição dos corantes

sintéticos, visando atender as expectativas e exigências do consumidor por alimentos naturais, seguros e saudáveis (Martins *et al.*, 2016). Ainda, estudos epidemiológicos sugerem que os compostos fenólicos desempenham atividades fisiológicas muito importantes para o organismo humano, com ênfase nas atividades antioxidantes e que podem desempenhar papel importante contra doenças degenerativas (Mazza; Cacace, Kay, 2004). Contudo, não há relatos sobre a aplicação de fibras de amido carregadas com extrato da casca da jabuticaba em matrizes alimentares, em especial avaliando a bioacessibilidade.

## 2.5 Bioacessibilidade

O estudo da bioacessibilidade compreende a avaliação da fração de um determinado composto que será liberado de uma matriz alimentar em que está aprisionado, por ação do suco digestório, ficando disponível para a absorção (Cilla *et al.*, 2013). Após o processo digestório, os compostos precisam ser enviados para o intestino, onde são transportados até o fígado para serem metabolizados. A bioatividade consiste na determinação das propriedades de determinado composto, desde as interações até seu processo de metabolização e distribuição aos tecidos alvos, onde exercem a atividade (Cilla *et al.*, 2013).

Quando se trata de uma fração do composto que será libertada da matriz do alimento, que absorvida tem potencial de suprir as demandas fisiológicas, o termo apropriado é biodisponibilidade (Cardoso *et al.*, 2014). Entretanto, muitas vezes, é utilizado o termo biodisponibilidade quando se trata de bioacessibilidade, sendo importante evidenciar que ambos os termos são distintos, apesar de estarem relacionados, visto que para um nutriente ou composto se tornar biodisponível necessita, primeiramente, estar bioacessível (Fernández-Garcia; Carvajal-Lérída; Pérez-Gálvez, 2009). Existem maneiras diferentes e distintas de avaliar a bioacessibilidade de um composto ou nutriente, através dos testes *in vivo* e testes *in vitro*. Os dois métodos apresentam vantagens e desvantagens, o emprego de um ou outro depende principalmente do propósito da análise e da disponibilidade de materiais para executar. Os estudos *in vivo* exigem um tempo maior e recursos específicos para um protocolo experimental adequado, além disso possuem limitações analíticas e éticas que devem ser passadas em comitê de ética e aprovadas para a execução (Cardoso *et al.*, 2014).

Os modelos de simulação *in vitro* apresentam-se como alternativa aos estudos *in vivo*, são mais simples, rápidos, de menor custo e sem restrições éticas, sendo possível determinar a bioacessibilidade dos compostos, nas fases de digestão oral, gástrica e intestinal. Optar por modelos *in vitro* torna a escolha adequada para estudos mecanicistas e com novas construções de hipótese (Minekus *et al.*, 2014).

O termo *in vitro* é empregado quando uma amostra alimentar é submetida a sequência de processos que simulam o que ocorre durante a digestão no trato gastrointestinal humano (Alminger *et al.*, 2014). Para simular as fases da digestão *in vitro*, é necessário que os fluidos digestivos, o pH de cada fase, a temperatura e o tempo de simulação de uma etapa para a outra sejam semelhantes às do sistema digestório humano (Minekus *et al.*, 2014).

Parte dos estudos simulam as três etapas de digestão usando as enzimas digestivas; na primeira fase são simuladas as condições orais, utilizando a enzima  $\alpha$ -amilase salivar, com fluidos salivares básicos pH 6-7 durante 2 minutos, na segunda etapa o bolo alimentar passa para a fase gástrica, promovida pelas condições ácidas pH 2-3 e pela enzima digestiva pepsina, durante 2 horas a temperatura de 37 °C, o mesmo parâmetro é empregado na fase seguinte, a terceira etapa da simulação *in vitro*, que recebe o quimo, em condições básicas pH 6-7, com atuação de pancreatina e dos sais biliares (Minekus *et al.*, 2014).

Como todo e qualquer estudo, a simulação *in vitro* apresenta limitações, o que impede a simulação integral de todo o sistema gastrointestinal, devido à complexidade das reações e dos mecanismos que envolve as condições fisiológicas individuais de cada indivíduo, como a idade, genótipo, estado nutricional, quantidade de secreção gástrica e intestinal e tipo de microbiota intestinal (Etcheverry; Grusak; Fleige, 2012).

Contudo, é possível considerar que a bioacessibilidade pode contribuir para estimar o efeito nutricional. Diversos estudos sobre este tema já foram descritos tratando de vários compostos em diferentes matrizes alimentares. Os estudos de bioacessibilidade de compostos fenólicos são os mais relatados na literatura, já foram estudados os compostos presentes na uva (Tagliazucchi *et al.*, 2010), maçã (Bouayed; Hoffmann; Bohn, 2011) amora (Liang *et al.*, 2012), ameixa (Bobrich *et al.*, 2014), romã (Sengul; Surek; Nilufer-Erdil, 2014), morango (Kosińska-Cagnazzo *et al.*, 2015). Embora sejam narrados muitos estudos acerca da bioacessibilidade de compostos fenólicos e atividade antioxidante de frutas, há carência de estudos que



estudem a bioacessibilidade do extrato da casca da jabuticaba aplicado em uma matriz alimentar.

### **3 Materiais e métodos**

#### **3.1 Materiais**

Para a realização do presente estudo foram utilizados frutos de jabuticaba (*Plinia sp.*) oriundos de Viçosa/MG (latitude: -20.7546, longitude: -42.8825 20° 45' 17" Sul, 42° 52' 57" Oeste), safra de 2022 transportadas sobre refrigeração, armazenadas em embalagem de polietileno tereftalato, mantidas sob refrigeração (5 °C). Amido extraído de semente de abacate da cultivar Hass, foram obtidos em um estudo prévio deste grupo de pesquisa (Frasson *et al.*, 2023). Os reagentes utilizados para as análises foram de grau de pureza analítica.

#### **3.2 Delineamento experimental**

As soluções poliméricas de amido de semente de abacate foram preparadas nas concentrações de 10, 20 e 30% (m/v) em ácido fórmico 75% (v/v, em água ultrapura, MegaPurity® (MecLab, Brasil), e agitadas por 24 h, para garantir a completa gelatinização do amido. As soluções foram avaliadas pelas determinações de viscosidade e condutividade elétrica. Posteriormente, as soluções poliméricas foram submetidas ao processo de *electrospinning*.

Para determinar a melhor concentração de amido, as fibras foram depositadas em uma lâmina avaliadas por microscopia (JEOL, JSM 6010LV, Japão). Após determinada qual concentração de material polimérico foi capaz de formar fibras de pequeno diâmetro, foram incorporadas as concentrações de extrato da casca de jabuticaba de 3, 6 e 9% (m/m) em relação ao peso de amido. A solução de amido sem extrato da casca da jabuticaba foi utilizada como controle.

As fibras produzidas com amido de semente de abacate, com e sem a incorporação do extrato de casca de jabuticaba, foram avaliadas por meio de análises de morfologia e dimensão, através de microscopia eletrônica de varredura (MEV); perfil espectroscópico no infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR); análise termogravimétrica (TGA); eficiência de carregamento por compostos fenólicos totais;

atividade antioxidante por captura dos radicais DPPH e ABTS; compostos fenólicos totais. Conforme demonstrado no delineamento experimental da Tabela 1

Tabela 1 - Delineamento experimental para a produção e avaliação das fibras com amido de semente de abacate, contendo diferentes teores de extrato de casca de jabuticaba

Tratamento	Variáveis independentes	Variáveis dependentes
	Extrato de casca de jabuticaba (%, m/m em base a massa de amido)	
1	0	Morfologia e dimensão - MEV
2	3	Propriedades térmicas - TGA
3	6	Perfil espectroscópico por FT-IR
4	9	Eficiência de carregamento
		Atividade antioxidante – DPPH e ABTS
		Compostos fenólicos totais

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

As fibras que apresentaram maior teor de compostos fenólicos totais e maior atividade antioxidante frente aos radicais ABTS e DPPH, foram incorporadas em iogurte, no peso de 4% em relação a massa de leite fermentado.

O iogurte contendo 4% de extrato em relação ao percentual adicionado nas fibras, e uma mostra contendo apenas iogurte, foram submetidas ao processo de digestão *in vitro*, simulando as fases oral, gástrica e intestinal, sendo recolhidas alíquotas nos tempos de 2 min, para fase oral e 2 horas para as fases gástricas e intestinal, de acordo com o delineamento apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Delineamento experimental para aplicação das fibras em iogurte, e bioacessibilidade dos compostos bioativos nas fases oral, gástrica e intestinal através da digestibilidade *in vitro*

Tratamento	Variáveis independentes		Variáveis dependentes
	Matriz	Fases	
1	iogurte	Oral (2 min)	Compostos fenólicos totais
2	iogurte + extrato	Gástrica (2 h)	Atividade antioxidante por ABTS
3	iogurte + fibra	Intestinal (2 h)	

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

### 3.3 Obtenção do extrato da casca de jabuticaba

A produção do extrato de casca de jabuticaba seguiu o modelo descrito por Prietto *et al.* (2018), com algumas adaptações. Foram utilizados 1000 mL da solução extratora de etanol 96% (v/v), acidificado com ácido clorídrico (pH = 1), para cada 100 g de casca de jabuticaba fresca.

As cascas foram trituradas, misturadas ao solvente, utilizando um *mixer* de bancada (Mondial, M-03, China) e após a mistura foi levada a agitação mecânica (agitador magnético Fisatom, modelo 752, Brasil) por 2 h a 22 °C, ao abrigo da luz. Na sequência, filtrou-se e acondicionou-se em frascos âmbar sob refrigeração (4 °C). Para a retirada do solvente o extrato foi submetido ao processo de concentração em rotaevaporação (Heidolph, Laborota 4000, Alemanha), em temperatura de 55 °C e rotação de 120 rpm por 20 min. Posteriormente, borbulhou-se nitrogênio gasoso (N<sub>2</sub>) e procedeu-se a liofilização (Liobras, liotop k 108, Brasil), com a temperatura do condensador de -100 °C, pressão abaixo de 100 µHg, permanecendo por um período de 72 h. O produto desidratado foi armazenado em *ultra freezer* (Coldlab, CL120-86V, Brasil), protegido da luz, até a sua utilização (Prietto *et al.*, 2018).

### 3.4 Análises do extrato da casca da jabuticaba

#### 3.4.1 Cor

Para determinação da cor do extrato, foi utilizado um colorímetro modelo MINOLTA CR 400, empregando-se o sistema de leitura CIELAB (*Comission Internatinal de E'clairage*), representado pelos seguintes parâmetros: coordenada L\* expressa o grau de luminosidade da cor medida (L\* = 100 = branco; L\* = 0 = preto), a coordenada a\* expressa o grau de variação entre o vermelho (+60) e o verde (-60) e a coordenada b\* expressa o grau de variação entre o azul (-60) e o amarelo (+60). Os valores a\* e b\* foram utilizados para calcular o Croma e o Hue (Equação 1):

$$C^* = \left[ (a^{*2} + b^{*2})^{\frac{1}{2}} \right]$$

$$^{\circ}\text{HUE} = \arctg b^*/a^* \quad (1)$$

Em que:

<sup>o</sup>HUE: Ângulo que indica a tonalidade de cor do alimento

arctgb\*: Arcotangente do parâmetro b\*

C = Croma

a\* = valores da coordenada a\*

b\* = valores da coordenada b\*

### 3.4.2 Antocianinas totais

Para quantificar as antocianinas presentes no extrato da casca da jabuticaba, 2 g de amostra foram pesados em um *Becker* de 250 mL, adicionaram-se 50 mL de etanol pH = 1,0 e procedeu-se a extração durante 1 h, ao abrigo da luz, sob agitação. Na sequência, filtrou-se com papel filtro, recolhendo o filtrado em um balão volumétrico de 100 mL, por fim, o volume foi completado com etanol. A leitura da absorbância foi executada em espectrofotômetro (Jenway 6705 UV/VIS) no comprimento de onda de 520 nm. O teor de antocianinas expresso em mg 100 g<sup>-1</sup> (Lees; Francis, 1972).

### 3.4.3 Atividade antioxidante por ABTS

Para determinar a capacidade de capturar o radical ABTS, uma solução estoque de ABTS 7,4 mol. L<sup>-1</sup> (5 mL), após adicionada de solução de persulfato de potássio 140 mmol. L<sup>-1</sup> (88 µL), foi mantida ao abrigo da luz por 16 h em temperatura ambiente (20 ± 2 °C). Na sequência, 1 mL dessa solução foi diluída em etanol 80% (v/v, em água destilada) até a absorbância atingir valor de 0,700 ± 0,05, em comprimento de onda de 734 nm.

Pesaram-se 2 g de extrato da casca da jabuticaba em 20 mL de etanol, agitou-se em vórtex por 3 min e deixou-se em repouso por 24 h, na sequência, procedeu-se a centrifugação a 25.406,55 g em centrífuga (5430 R, Alemanha), coletou-se o sobrenadante, uma alíquota de 30 µL do extrato foi adicionada à 3 mL do radical ABTS, misturou-se em vórtex por 30 s, e deixou-se no escuro durante 6 min, em temperatura de 25 °C. A absorbância das amostras foi medida a 734 nm. A capacidade de sequestrar o radical foi calculada em relação ao controle (sem antioxidante) e o resultado expresso em porcentagem de inibição, de acordo com a Equação 2 (Rufino *et al.*, 2007).

$$\text{Inibição (\%)} = \frac{ABS_{\text{branco}} - ABS_{\text{amostra}}}{ABS_{\text{branco}}} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

ABS = absorbâncias

### 3.4.4 Atividade antioxidante por DPPH

A capacidade de eliminar os radicais 2,2-difenil-1-picril-hidrazido (DPPH) do extrato da casca da jabuticaba foi realizada através do método descrito por Brand-Williams *et al.*, (1995) em que 2,4 mg de DPPH foi dissolvido em etanol, em balão de 100 mL, posteriormente, armazenado ao abrigo da luz para que ocorresse a reação. Cerca de 0,1 mL do extrato foi adicionado a 3,9 mL de DPPH em etanol (0,6 mmol.L<sup>-1</sup>), procedida a homogeneização, e aguardado o tempo reacional de 30 min, ao abrigo da luz, na sequência foi realizada a leitura espectrofotômetro UV-vis (Jenway 6705 UV/VIS) no comprimento de onda de 515 nm. O resultado foi expresso em porcentagem de inibição, de acordo com a Equação 3:

$$\text{Inibição (\%)} = \frac{\text{ABS branco} - \text{ABS amostra}}{\text{ABS branco}} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

ABS = absorbâncias

### 3.4.5 Compostos fenólicos totais

Para a determinação dos compostos fenólicos totais foi preciso extrair os compostos fenólicos do extrato, esta extração foi realizada com etanol por 30 min sob agitação. Foram pipetados 250 µL em tubos de Falcon de 15 mL e adicionados 4 mL de água destilada e 250 µL da solução de *Folin-Ciocalteu* 0,25 N, procedeu-se a homogeneização e aguardaram-se 3 minutos de tempo reacional, em seguida foram adicionados 500 µL de carbonato de sódio 0,5 mol. L<sup>-1</sup>, repetida a homogeneização e deixado reagir pelo período de 2 h, ao abrigo da luz, na sequência as leituras foram realizadas em espectrofotômetro (Jenway 6705 UV/VIS) utilizando o comprimento de onda de 724 nm (Singleton e Rossi, 1965). Os compostos fenólicos totais presentes no extrato da casca de jabuticaba foram determinados através de uma curva padrão de ácido gálico ( $y = 14,627X - 0,0568$ ), ( $R^2 = 0,9990$ ), com resultados expressos em mg equivalente de ácido gálico por 100 g de amostra (mgGAE.g<sup>-1</sup>).

### 3.4.6 Teor de vitamina C

A partir do extrato pronto, transferiu-se para *Erlenmeyer* de 300 mL, 1 g de amostra, 50 mL de água, 3 mL de solução de ácido sulfúrico a 20% (v/v), 1 mL da solução de iodeto de potássio a 10% (v/v) e 1 mL da solução de amido a 1% (p/v). A amostra foi titulada com solução de iodato de potássio 0,02 mol.L<sup>-1</sup> até coloração azul escura. Os resultados foram expressos em mg.100 g<sup>-1</sup> de amostra (IAL, 2008).

### **3.5 Preparado das soluções poliméricas**

Primeiramente foi necessário determinar a concentração de polímero para a produção das fibras. Prepararam-se soluções poliméricas de amido de semente de abacate nas concentrações de 10, 20 e 30% (m/v) em ácido fórmico 75% (v/v, em água ultrapura, MegaPurity® (MecLab, Brasil), que foram agitadas por 24 h em agitador magnético (Velp Scientifica, Multistirrer 6, Itália).

#### **3.5.1 Viscosidade e condutividade elétrica da solução polimérica**

A viscosidade das soluções poliméricas de amido foi determinada com a utilização de um viscosímetro (Modelo EC150, Simpla, China), sendo o resultado expresso em cP. Já condutividade foi medida com o auxílio de um condutivímetro (Tecnopon, Brasil), na temperatura de 25 °C, expressa em µS.cm<sup>-1</sup>.

### **3.6 Produção de fibras pela técnica de *electrospinning***

Após determinar a concentração do material de parede para a formação das fibras ultrafinas, as soluções poliméricas utilizadas para incorporação do extrato da casca da jabuticaba foram preparadas utilizando o amido da semente de abacate como material de parede. O preparo foi realizado conforme descrito por Fonseca *et al.* (2019), com algumas adaptações. Uma concentração de 20% (m/v) de amido da semente de abacate foi diluída em ácido fórmico 75% (v/v, em água destilada) e essa solução foi agitada durante 24 h em agitador magnético (Velp Scientifica, Multistirrer 6, Itália).

A soluções poliméricas de amido foram adicionadas de 0, 3, 6 e 9% de extrato da casca de jabuticaba e foram transferidas para uma seringa plástica acoplada a uma agulha de aço inoxidável. Essa seringa foi acoplada em uma estação horizontal de

*electrospinning*, composta por uma bomba de infusão (KD Scientific, Model 100, Inglaterra), uma fonte de alta tensão de corrente contínua (Faíscas, FA+30kV, Brasil) e um coletor metálico coberto por uma folha de alumínio.

Os parâmetros empregados para a produção das fibras de amido com diferentes concentrações de extrato estão na Tabela 3, determinados com base em testes preliminares, visando a obtenção de fibras com morfologia lisa, uniforme, contínua e sem a presença de *beads*. Durante todo o processo deste experimento foram controladas a temperatura e umidade, iguais a  $20 \pm 2$  °C e  $47 \pm 2\%$ , respectivamente, utilizando climatizador (Electrolux®, EcoTurbo, Brasil) e desumidificador de ar (Quimis, Q831M 20, Brasil).

Tabela 3 - Parâmetros para a produção de fibras de amido da semente de abacate com diferentes concentrações de extrato da casca de jabuticaba por *electrospinning*

Parâmetro	Condição
Volume da seringa (mL)	3,0
Diâmetro da agulha (mm)	0,8
Fluxo de alimentação (mL.h <sup>-1</sup> )	0,6
Distância da agulha ao coletor (cm)	14,0
Tensão elétrica (kV)	21,6

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

### 3.6.1 Morfologia e distribuição de tamanho das fibras (MEV)

A morfologia das fibras de amido da semente de abacate, com e sem extrato da casca da jabuticaba, foram avaliadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) (Jeol, JSM - 6610LV, EUA). Uma pequena porção do material foi disposta em *stubs* com fita de carbono e recoberta com ouro, utilizando um metalizador (Sputtering, Denton Vacuum Desk V, EUA), para análise foi empregada uma aceleração de tensão de 10 kV. O diâmetro médio e a distribuição de tamanho foram obtidos através das imagens de MEV, utilizando o *software ImageJ* versão 2015.

### 3.6.2 Perfil espectroscópico na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)



O perfil espectroscópico do amido, do extrato da casca de jabuticaba e as fibras de amido incorporadas com diferentes concentrações de extrato (0, 3, 6 e 9% m/m, em amido na solução polimérica) foi obtido em equipamento FTIR IRAffinity-1 (ATR, Shimadzu), resolução de  $400 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ , uma quantidade de amostra suficiente para cobrir o prisma de seleneto de zinco (ZnSe) foi adicionada e realizadas 60 varreduras, com apodização na função Happ-Genzel. Para aquisição dos dados, expressos em número de onda, foi utilizado o programa IRsolution versão 1.60 (Shimadzu Corporation).

### 3.6.3 Análise termogravimétrica (TGA)

As propriedades termogravimétricas das amostras de amido, do extrato da casca de jabuticaba e das fibras de amido incorporadas com (0, 3, 6 e 9% m/m) de extrato da casca da jabuticaba foram obtidas utilizando aproximadamente 5 mg das amostras acondicionadas em suporte de  $\alpha$ -alumina aberto (Shimadzu®), em equipamento TG-60 (TA-60WS, Shimadzu®, Kyoto, Japão), sob atmosfera de nitrogênio com vazão de  $50 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ , temperatura inicial de  $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , taxa de aquecimento de  $10 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  até alcançar temperatura final de  $600 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Para aquisição dos dados: temperatura inicial ( $T_p$  onset), temperatura máxima do evento ( $T_p$  n), variação de temperatura ( $\Delta T$ ), perda de massa ( $\Delta m$  n) e massa do resíduo ( $\Delta m$  R), foi utilizado o programa TA-60WS versão 2.20 (Shimadzu Corporation®).

### 3.6.4 Eficiência de carregamento

A eficiência de carregamento (EC) do extrato de casca de jabuticaba nas três diferentes concentrações incorporadas em fibras de amido (0, 3, 6 e 9% m/m, em relação a massa de amido utilizada) foi avaliada conforme descrito por Radünz *et al.* (2021), com pequenas adaptações. Uma amostra de 100 mg de cada fibra foi adicionada de 1 mL de ácido fórmico 70% (v/v, em água destilada). Após, seguiu-se a metodologia já descrita anteriormente na seção 3.4.5, para a determinação de compostos fenólicos totais, através de leitura realizada em espectrofotômetro (Molecular Devices, SpectraMax 190, USA) a 725 nm. A eficiência de carregamento foi calculada em relação a quantidade de sólidos utilizados na solução polimérica e a fibra 0% foi utilizada como branco, conforme as equações 4 e 5.

$$\text{Fenólicos carregados na fibra (\%)} = \left[ \frac{A-B}{C+D} \right] * 100 \quad (4)$$

Em que:

A = mg.g<sup>-1</sup> de fenólicos na fibra carregada com extrato;

B = mg.g<sup>-1</sup> de fenólicos na fibra;

C = massa (mg) de amido na fibra;

D = massa (mg) de extrato na fibra.

$$\text{Eficiência de carregamento (\%)} = \left[ \frac{\% \text{fenólicos carregados na fibra}}{\% \text{extrato adicionado na fibra}} \right] * 100 \quad (5)$$

### **3.6.5 Atividade antioxidante das fibras carregadas com extrato da casca da jabuticaba por ABTS e DPPH**

As análises foram realizadas conforme descrito por Rufino *et al.* (2007) e por Brand-Williams, Cuvelier, Berset (1995), respectivamente. Com algumas adaptações propostas por Radünz *et al.* (2021). Devido à dificuldade de liberação dos compostos aprisionados nas fibras foi necessário romper o material. Assim, as amostras das fibras de amido da semente de abacate (200 mg) contendo 0, 3, 6 e 9 % de extrato da casca da jabuticaba (m/m) foram pesadas em tubos do tipo *ependorf* separados, e adicionaram-se 2 mL de ácido fórmico 75% em água ultrapura (v/v), agitou-se em vórtex por 3 min e deixou-se em repouso por 24 h para que ocorresse a liberação total dos compostos presentes nas fibras ultrafinas. Na sequência, procedeu-se a centrifugação a 25.406,55 G em centrífuga (5430 R, Alemanha), após a obtenção dos compostos extraídos das fibras ultrafinas de amido da semente de abacate a análise seguiu como descrito anteriormente, nos itens 3.4.3 e 3.4.4.

### **3.5.7 Compostos fenólicos totais das fibras carregadas com extrato da casca de jabuticaba**

A análise foi realizada através do método colorimétrico de Singleton e Rossi (1965) conforme descrito anteriormente no item 3.4.5 com adaptações propostas por Radünz *et al.* (2021), no item 3.4.5.

### 3.7 Aplicação das fibras em iogurte natural

O preparo do iogurte natural consistiu primeiramente em pasteurizar a mistura composta por 1 L de leite, com 40 g de leite em pó desnatado e 55 g de açúcar, a 95 °C durante 5 minutos em banho maria. Após, a mistura foi deixada resfriar até a temperatura de 43 °C, posteriormente, foi adicionado um sachê de fermento lácteo para preparado de leite fermentado com lactobacilos vivos, composto por culturas de *Lactobacillus acidophilus* LA-5® ( $1 \times 10^6$  UFC.g<sup>-1</sup>) e *Bifidobacterium* BB-12® ( $1 \times 10^6$  UFC.g<sup>-1</sup>), procedendo a agitação com um *mixer* de bancada (Mondial, M-03, China).

O iogurte adicionado da fibra carregada que mostrou melhores características ou extrato da casca da jabuticaba puro, todos os testes foram feitos em triplicata. As amostras foram colocadas em tubos de Falcon de 50 mL, no primeiro tratamento 200 mg de fibras e 4,800 g de iogurte, no segundo tratamento foi colocado 4,975 g da mistura com 0,015 mg de extrato da casca de jabuticaba. O tratamento controle foi adicionado 5 g de iogurte. Todos foram incubados em estufa a  $42 \pm 1$  °C, durante 4 horas, até atingir o pH de 4,5 ou 4,7, posteriormente o iogurte foi resfriado a 4 °C, permanecendo por 7 dias, até o momento da análise.

#### 3.7.1 Digestibilidade *in vitro*

O experimento seguiu o modelo INFOGEST proposto por Minekus *et al.* (2014). Para que fosse possível simular a digestibilidade *in vitro*, foi necessário preparar os fluidos que são produzidos pelo organismo humano em cada etapa do sistema digestório. A composição dos fluidos que simulam os produzidos pelas fases salivar, gástrica e intestinal estão na Tabela 4.

Tabela 4 - Composição dos fluidos utilizados nas análises de digestibilidade *in vitro*

Solução	Fluido salivar (mL)	Fluido gástrico (mL)	Fluido intestinal (mL)
Cloreto de potássio (0,5 mol.L <sup>-1</sup> )	18,9	8,6	8,5
Fosfato de potássio monobásico (0,5 mol.L <sup>-1</sup> )	4,5	1,1	1
Bicarbonato de sódio (1 mol.L <sup>-1</sup> )	8,5	15,6	53,1
Cloreto de sódio (2 mol.L <sup>-1</sup> )	-	14,7	12
Cloreto de magnésio (0,15 mol.L <sup>-1</sup> )	0,6	0,5	1,3
Cloreto de cálcio (0,3 mol.L <sup>-1</sup> )	0,03	0,006	0,05
Carbonato de amônio (0,5 mol.L <sup>-1</sup> )	0,075	0,6	-
Ácido clorídrico (1 mol.L <sup>-1</sup> )	0,11	1,6	0,8
Água destilada	467,29	457,30	423,25

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para simular a primeira fase da digestão, utilizaram-se 4 mL de suco salivar e 0,5 mL da enzima  $\alpha$ -amilase salivar (Sigma Aldrich®, A052), 0,025 mL de cloreto de cálcio 0,3 mol. L<sup>-1</sup> e 5 g de amostra e 0,475 mL de hidróxido de sódio 1 mol.L<sup>-1</sup> para ajustar o pH para 7,0. As amostras foram levadas a banho maria durante 2 min com agitação a cada 15 seg, posteriormente, uma alíquota de 2 mL foi retirada e armazenada em tubo de Falcon, a atividade da enzima foi cessada por adição de HCl 1 mol.L<sup>-1</sup> até atingir pH 4,5, com auxílio de pHmetro.

Na fase gástrica é preciso manter a proporção de 1:1 de acordo com o restante do bolo alimentar que passa da fase oral para gástrica, desta forma foi adicionado 6,4 mL de suco gástrico, 0,004 mL de cloreto de cálcio, 0,3 mol.L<sup>-1</sup>, 0,4 mL de pepsina (Sigma Aldrich®, P7000) e 0,6 mL de HCl 1 mol.L<sup>-1</sup> para ajustar o pH para 3,0, além de 0,2 mL de H<sub>2</sub>O destilada. Novamente, as amostras foram levadas ao banho maria por 2 h, com agitação manual a cada 5 min, simulando movimentos de onda, como ocorre no peristaltismo. Na sequência, as amostras foram levadas ao banho maria, sendo coletadas alíquotas de 2 mL e transferidas para tubos de Falcon, ajustou-se o pH para 7,0 com NaOH 1 mol.L<sup>-1</sup> para inativação da enzima.

A terceira e última etapa da digestibilidade *in vitro*, recebe o quimo da fase gástrica e entra em condições intestinais, as quais são promovidas pela ação da pancreatina (Sigma Aldrich®, P7545) e dos sais biliares (Sigma Aldrich®, B8756),

nesta etapa foi adicionado 5,950 mL de suco gástrico, 3,5 mL de pancreatina, 1,750 mL de uma solução de sais biliares, contendo 50% de colato e 50% desoxicolato, 0,0028 mL de cloreto de cálcio  $0.3 \text{ mol.L}^{-1}$ , 2,5 mL de NaOH  $1 \text{ mol.L}^{-1}$  para ajustar o pH para 7,0 e 0,30 mL de água destilada para manter a proporção de 1:1, como nas fases anteriores; novamente, as amostras foram incubadas em banho maria, agitadas a cada 5 min, simulando os movimentos peristálticos realizados pelo intestino. Alíquotas foram coletadas, como na fase anterior, ajustadas para pH 4,5 e mantidas em refrigeração a  $-5^\circ\text{C}$ .

### **3.7.2 Bioacessibilidade de compostos fenólicos**

A análise foi realizada conforme descrito anteriormente na seção 3.4.5.

### **3.7.3 Atividade antioxidante por ABTS após digestibilidade *in vitro***

A análise foi realizada conforme descrito anteriormente na seção 3.4.4.

## **4 Resultados e Discussão**

### **4.1 Análises do extrato da casca de jabuticaba**

#### **4.1.1 Cor**

Os parâmetros de cor do extrato da casca da jabuticaba liofilizado evidenciaram que a luminosidade ( $L^*$ ) tende ao escuro ( $9,93 \pm 0,0$ ), considerando que este parâmetro varia de 100 (branco) a 0 (preto). Já para cromaticidade, o parâmetro  $a^*$  foi de  $0,23 \pm 0,02$ , considerando que a coordenada ( $a^*$ ) expressa o grau de variação entre o vermelho (+60) e o verde (-60), observou-se uma tendência ao vermelho. O parâmetro ( $b^*$ ), com valor de  $-0,86 \pm 0,00$ , mostrou uma tendência ao azul, considerando que a coordenada ( $b^*$ ) varia entre o azul (-60) e o amarelo (+60). O Hue ( $0,80 \pm 0,02$ ) e o Croma ( $0,89 \pm 0,01$ ) evidenciam a tendência a cores escuras como o vermelho, sendo que o ângulo de tonalidade começa no eixo  $+a^*$ , e se movimenta em sentido anti-horário, sendo expresso em graus (como por exemplo,  $0^\circ$  é vermelho e  $90^\circ$  é amarelo). Em relação a saturação da cor, quando apresenta valores próximos de zero ( $0,89 \pm 0,01$ ) indica a presença de tons acinzentados, enquanto valores próximos a 60 representam cores mais vívidas (Mendonça *et al.*, 2003). Tal comportamento já era esperado, uma vez que a casca da jabuticaba é rica em antocianinas, que são pigmentos naturais que variam de vermelho ao azul púrpura (Coisson *et al.*, 2005). A cor das antocianinas depende de sua estrutura e estabilidade, a tendência ao vermelho, é oriunda da extração acidificada em  $\text{pH} = 1$ , em que a antocianina se encontra na forma de cátion flavílium, o responsável pela cor vermelha (Lee; Durst; Wrolstad, 2005). Outra possível explicação pode ser oriunda da forma glicosilada, a qual a antocianina se encontra nos vegetais, como na casca da jabuticaba (Ananga *et al.*, 2013).

#### **4.1.2 Antocianinas totais**

O teor de antocianinas totais obtido por extração alcoólica ( $\text{pH} = 1$ ) da casca da jabuticaba foi de  $294,53 \pm 0,54$  mg em  $100 \text{ g}^{-1}$ . Em seus estudos, Teixeira, Stringheta e Oliveira (2008) obtiveram valores mais altos de antocianinas em um

extrato da casca da jabuticaba ( $641,01 \pm 0,00 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ). Em contraposto, Rubio (2014) obteve valores menores no extrato, que no presente estudo ( $192,37 \pm 0,20 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ). As diferenças apresentadas entre os estudos podem estar relacionadas a vários fatores, como o estágio de maturação em que as frutas foram colhidas, as condições climáticas de cultivo, a variedade da fruta e o método de extração que é extremamente importante, uma vez que as antocianinas são instáveis a diferentes pH e temperaturas, interferindo diretamente na sua quantificação (Cavalcanti, 2013). Visto como um resíduo industrial, a casca da jabuticaba tem elevado grau de interesse, devido sua composição química ser rica em compostos fenólicos, como as antocianinas, nas quais o composto majoritário é a cianidina-3-glucosídeo, principal responsável pela coloração escura apresentada na sua casca. O consumo de compostos bioativos, como as antocianinas, proporciona alguns benefícios à saúde devido a elevada atividade antioxidante (Baseggio *et al.*, 2018).

#### **4.1.3 Capacidade antioxidante frente aos radicais ABTS e DPPH**

O extrato da casca de jabuticaba apresentou significativamente maior ( $p \leq 0,05$ ) capacidade antioxidante frente ao radical ABTS ( $93,00 \pm 0,02\%$ ) do que por DPPH ( $53,61 \pm 0,01\%$ ). De acordo com Hassimotto *et al.*, (2005), os valores da capacidade antioxidante podem ser classificados como altos quando apresentam ( $> 70\%$  de inibição), intermediários (entre  $40\text{-}70\%$  de inibição) e baixos (de  $< 40\%$  inibição), assim, verifica-se que pelo método ABTS a capacidade antioxidante do extrato é alta. Possivelmente, os maiores valores obtidos por ABTS justifiquem-se em função das características do método, que pode ser aplicado a compostos hidrofílicos ou lipofílicos, pois há solubilidade do reagente em água e solventes orgânicos, também por atuar em ampla faixa de pH, sendo mais reativo que o radical DPPH, e ainda por reagir com compostos que atuam por transferência de próton ou de elétron (Re *et al.*, 1999). O método de ABTS se fundamenta na redução do radical pelas substâncias antioxidantes, já o método de DPPH a reação é baseada na diminuição da cor que acontece quando o elétron ímpar presente no átomo de nitrogênio (N) no DPPH é reduzido ao receber um átomo de hidrogênio (H) dos compostos antioxidantes (Scherer; Godoy, 2009).

Em estudos de Araújo (2011) foram observados valores menores de eliminação do radical DPPH para extrato da casca de jabuticaba e farinha da casca de jabuticaba

(22,04% e 23,48%, respectivamente). Lima *et al.* (2008) ao analisar a casca de duas variedades de jabuticaba, obteve eliminação do radical ABTS de 72,72%, para a variedade Sabará e 76,9% para a variedade Paulista, evidenciando as variações em função da cultivar e da amostra que foi avaliada.

A expressiva capacidade antioxidante mostrada pelo extrato de casca de jabuticaba evidencia que partes dos alimentos, como casca, que muitas vezes são descartados como resíduos, podem ser boas fontes de compostos bioativos sendo importante a identificação, o reconhecimento e a promoção de estratégias de utilização para ampliar os benefícios à saúde promovidos por estes compostos.

#### **4.1.4 Compostos fenólicos totais do extrato da casca da jabuticaba**

O teor de compostos fenólicos totais encontrado no extrato da casca da jabuticaba foi de  $1.050,16 \pm 0,01$  mgGAE.100 g<sup>-1</sup>. O estudo de Vasco; Ruales e Kamal-Eldin (2008) com vários frutos, classificou o conteúdo de compostos fenólicos em três categorias: baixo (< 1 mg GAE.g<sup>-1</sup>); médio (1 a 5 mg GAE.g<sup>-1</sup>) e elevado (>5 mg GAE.g<sup>-1</sup>). Com base nessa classificação, o extrato avaliado pode ser classificado como de médio teor de compostos fenólicos. Valor superior ao deste estudo foi encontrado por Pinto (2020), que obteve 4,871 mg GAE.g<sup>-1</sup> para farinha da casca jabuticaba. Já Lemos *et al.* (2016) obtiveram menor valor (0,99 mg GAE.g<sup>-1</sup>) na casca da jabuticaba *in natura*. As possíveis variações podem estar associadas ao metabolismo secundário das plantas, as alterações pelas condições de estresse da planta e ambientais, tanto como o local de plantio, o estágio de maturação, formas de colheita e o armazenamento, além do solvente extrator utilizado (Rais *et al.* 2019). Cabe também considerar, as diferenças relacionadas ao tipo de amostra (casca *in natura*, extrato e farinha).

#### **4.1.5 Teor de vitamina C**

O teor de vitamina C médio encontrado no extrato da casca de jabuticaba foi de  $176,6 \pm 0,01$  mg.100 g<sup>-1</sup> ácido ascórbico. Valores maiores, foram encontrados por Lima (2008), por meio de HPLC ( $246,28 \pm 9,2$  e  $298,23 \pm 40,5$  mg.100 g<sup>-1</sup> ácido ascórbico) na casca da jabuticaba para as variedades Paulista e Sabará. Segundo a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2006), o teor de vitamina C em polpa de jabuticaba é de 16,2 mg.100 g<sup>-1</sup>. Desta forma é notável que a casca da



jabuticaba é rica em vitamina C, e apresenta teor expressivamente maior que a polpa da fruta, e também por se tratar de um extrato concentrado, explica-se o alto teor de vitamina C encontrado neste estudo, indicando que as cascas da jabuticaba são interessantes alternativas a serem exploradas, visando o aproveitamento total da fruta.

## 4.2 Caracterização das soluções poliméricas

### 4.2.1 Viscosidade e condutividade elétrica das soluções poliméricas

Os parâmetros  $K$  e  $\eta$ , obtidos por ajuste com modelo matemático de Ostwald de Waele, podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetros reológicos  $K$  e  $\eta$ , obtidos por ajuste com modelo matemático de Ostwald de Waele

Amido na solução polimérica (% m/v)	$K$ (mPa.s <sup>n</sup> )	$\eta$ (adm)	Condutividade ( $\mu$ S.cm)
10	$0,798 \pm 0,011^c$	$0,764 \pm 0,003^a$	$345,5 \pm 0,006^a$
20	$3,078 \pm 0,233^b$	$0,766 \pm 0,006^a$	$236,5 \pm 0,006^b$
30	$117,350 \pm 9,650^a$	$0,454 \pm 0,013^b$	$177,8 \pm 0,011^c$

\*Letras diferentes indicam diferença estatística na coluna pelo teste de Tukey  $p \leq 0,05$ .  $K$  = parâmetro de viscosidade;  $\eta$  = nível de pseudoplasticidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

As curvas de viscosidade ajustaram-se ao modelo matemático de Ostwald de Waele, ( $R^2 > 0,99$ ). O valor de  $K$  (mPa.s<sup>n</sup>) refere-se à viscosidade da solução e, quanto maior o valor, mais viscosa é a solução;  $\eta$  (adm) quantifica o nível de pseudoplasticidade das soluções, sendo que quanto menor o valor, mais pseudoplástica é a solução (Monteiro, 2004). Observou-se que a amostra contendo 30% de amido de semente de abacate mostrou-se a mais viscosa (117,350 cP), por outro lado, a amostra contendo a menor concentração de amido (10%), resultou na menor viscosidade (0,798 cP).

Quanto a pseudoplasticidade, a amostra contendo 30% de amido de semente de abacate evidenciou ser a mais pseudoplástica, pois apresentou o menor valor de  $\eta$  (0,454). Já as amostras 10 e 20%, com menor pseudoplasticidade, não diferiram estatisticamente entre si para esse parâmetro, ambas resultaram em valor de  $\eta$  mais

próximo de 1. A condutividade elétrica das soluções poliméricas Tabela 1 evidenciou diferenças estatisticamente significativas entre as soluções em função do percentual de amido presente ( $p \leq 0,5$ ). A amostra contendo 10% de amido de semente de abacate apresentou maior condutividade elétrica que as demais ( $345,5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). Pode-se observar que com o aumento da concentração de amido a condutividade das soluções foi diminuindo. Sabe-se que a condutividade aumenta com a maior quantidade de compostos ionizáveis presentes no meio (Antunes *et al.*, 2017). Contudo, vale salientar que o solvente utilizado foi ácido fórmico 75%, assim, provavelmente, o aumento do conteúdo de amido, tenha influenciado na dissociação do ácido, ainda, é possível que tenha ocorrido um aumento da resistência elétrica do meio, ambos fenômenos impactariam reduzindo a condutividade. Infere-se também, na possibilidade de substituição em grupamentos metoxílicos do amido, resultando em esterificação e menores possibilidades de ionização.

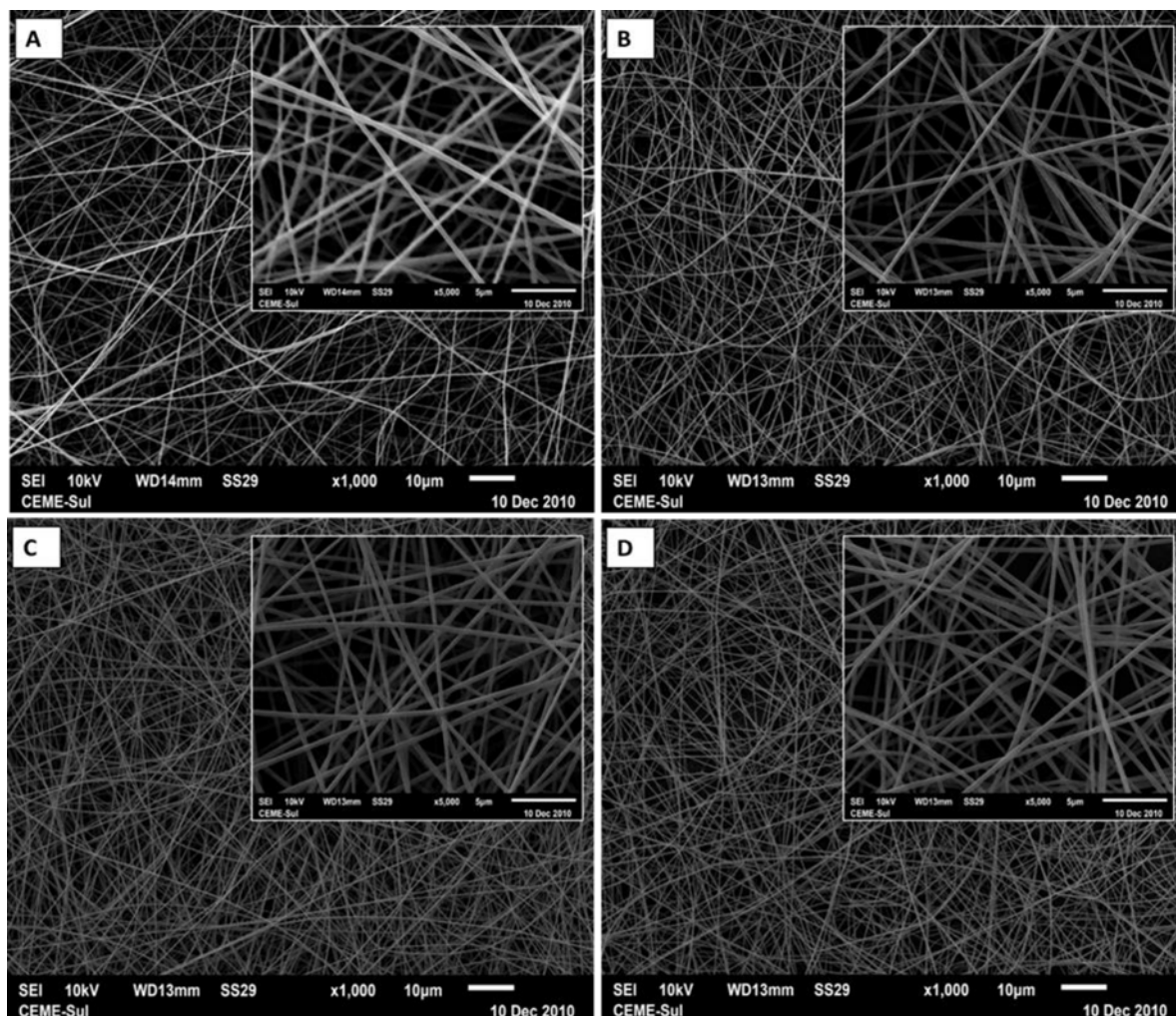
Observou-se que as soluções que apresentam alta viscosidade, e menor condutividade elétrica (30% de amido de semente de abacate), resultou em maior dificuldade para projeção do jato contínuo da solução do material polimérico, a partir da ponta da agulha, já a solução que apresentou mais baixa viscosidade (10% de amido de semente de abacate) não foi capaz de formar um jato estável. Bhardwaj e Kundu (2010) reportam a influência destes parâmetros na formação de fibras, corroborando as evidências desse estudo. Assim, a solução com 20% de amido foi a que conduziu a formação de um jato estável e a deposição de fibras com diâmetros reduzidos e sem a presença de *beads*, sendo selecionada para dar continuidade nos estudos. Segundo Da Cruz (2023), a viscosidade é um parâmetro que influencia diretamente na produção de material de diâmetro reduzido, uma vez que o emaranhamento das cadeias de polímero é dependente da viscosidade, sendo determinante na formação de jatos uniformes durante o processo de *electrospinning*, restringindo os efeitos da tensão superficial, o qual vai levar a produção dos *beads*.

#### **4.2.1 Morfologia e distribuição de tamanho das fibras de amido da semente de abacate (MEV)**

A morfologia das fibras de amido da semente de abacate com as diferentes concentrações de extrato da casca da jabuticaba está apresentada na Figura 3, bem como a distribuição de tamanho na Figura 4. As fibras de amido da semente de

abacate com 0, 3 e 6 e 9% de ECJ (Figuras 3A, 3B, 3C e 3D), apresentaram morfologia compatível com fibras ultrafinas, homogêneas, aleatórias e sem *beads*.

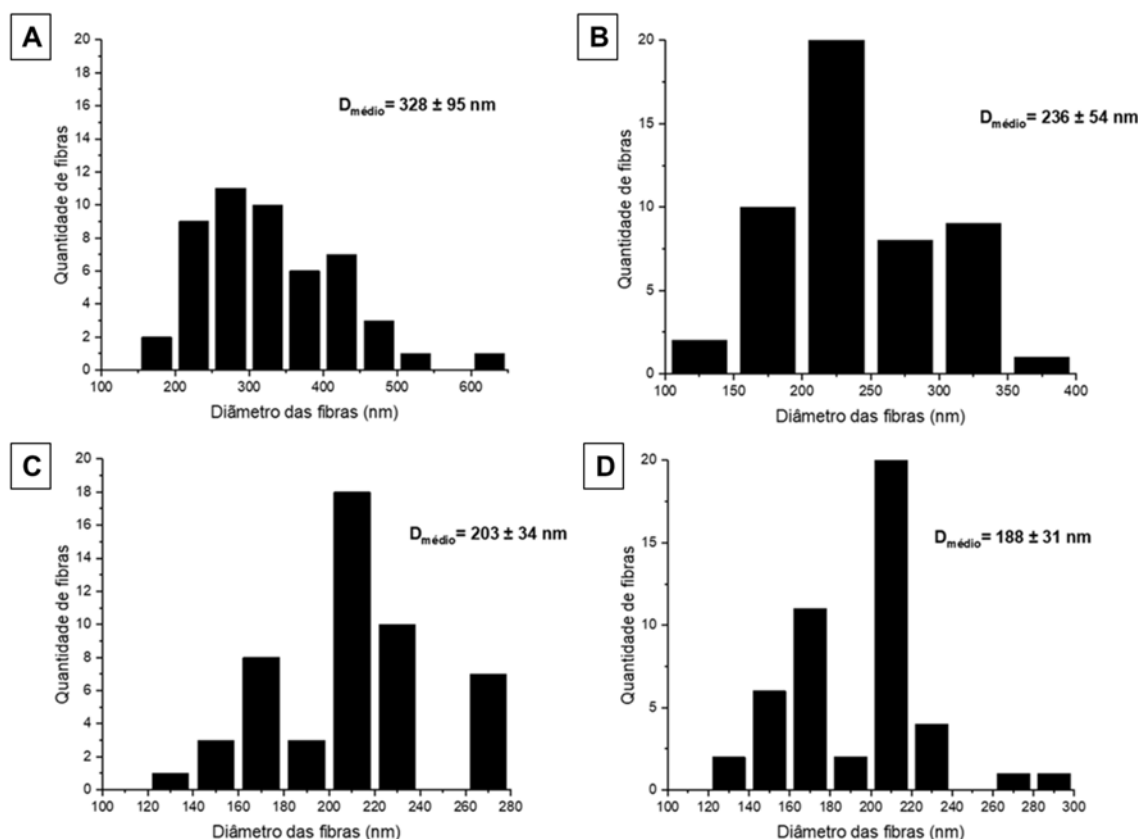
Figura 3 - Morfologia das fibras de amido da semente de abacate com diferentes concentrações de extrato da casca de jabuticaba (ECJ)



(A) Fibras ultrafinas de amido da semente de abacate encapsulada com 0% de ECJ; (B) Fibras ultrafinas de amido da semente de abacate encapsulada com 3% de ECJ; (C) Fibras ultrafinas de amido da semente de abacate encapsulada com 6% de ECJ; (D) Fibras ultrafinas de amido da semente de abacate encapsulada com 9% de ECJ.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 4 - Distribuição de tamanho das fibras de amido da semente de abacate com diferentes concentrações de extrato da casca da jabuticaba (ECJ)



(A) Fibras de amido da semente de abacate encapsulada com 0% de ECJ; (B) Fibras de amido da semente de abacate encapsulada com 3% de ECJ; (C) Fibras de amido da semente de abacate encapsulada com 6% de ECJ; (D) Fibras de amido da semente de abacate encapsulada com 9% de ECJ.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A encapsulação das diferentes concentrações do extrato da casca da jabuticaba nas fibras de amido oriundos da semente de abacate, não alterou a morfologia das mesmas (Figuras 3A, 3B, 3C e 3D). Contudo, houve alteração nos valores dos diâmetros médios obtidos com a adição do extrato. À medida que se aumentou a quantidade de extrato na solução polimérica (0, 3, 6 e 9%), o diâmetro foi reduzindo (Figura 4). A fibra controle com 0% de ECJ, apresentou diâmetro médio de  $328 \pm 95 \text{ nm}$  (Figura 3A), sendo está com maior valor para este parâmetro. A fibra contendo 9% de ECJ apresentou o menor diâmetro médio ( $188 \pm 31 \text{ nm}$ ). As possíveis causas desta redução de diâmetro estão relacionadas, provavelmente, as condições e os parâmetros aplicados no momento do emprego da técnica de *electrospinning*, como por exemplo, a tensão que é aplicada, distância de trabalho utilizada entre o coletor e o fluxo da solução, ou também pelas condições ambientais, como a umidade

e temperatura da cabine do *electrospinning* e também pelos parâmetros das soluções poliméricas, relacionados a viscosidade e condutividade elétrica (Fonseca *et al.*, 2020). De acordo com Avila *et al.* (2020) que encapsularam compostos bioativos da casca da jabuticaba em fibras de Zeína, a viscosidade da solução de zeína diminuiu com a adição dos compostos, e conseqüentemente aumentou sua condutividade, e desta forma ocorreu a redução dos diâmetros das fibras. O mesmo comportamento foi descrito por Jansen *et al.* (2023), que encapsularam extrato do bagaço de uva e observaram que à medida que adicionaram 0, 5, 10 e 15% do extrato, o diâmetro médio reduziu, variando de  $495 \pm 106$  (0%) a  $431 \pm 96$  nm (15%).

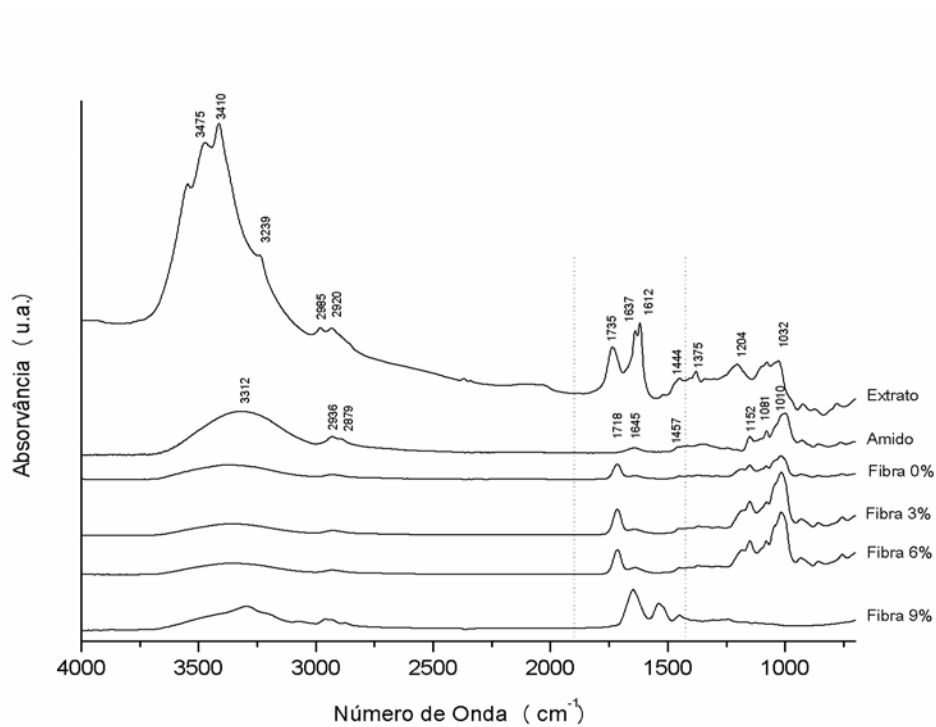
#### 4.2.2 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier

A análise de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier, mostra as possíveis interações entre moléculas de diferentes materiais, após sua união. Neste estudo, objetivou a partir desta análise, verificar os grupos funcionais presentes de forma individual no amido da semente de abacate, no extrato da casca da jabuticaba, e suas interações entre as moléculas presentes em ambas as amostras, através do perfil espectroscópico na região do infravermelho, após o final do processo de *electrospinning*.

A bandas no espectro de infravermelho podem indicar deformações das cadeias, também chamadas de deformação angular ( $\delta$ ), que podem ser simétricas ( $\delta_s$ ) ou assimétricas ( $\delta_a$ ) ou ao estiramento das funções, também chamadas de deformações axiais ( $\nu$ ) simétricas ( $\nu_s$ ) ou assimétricas ( $\nu_a$ ).

Os espectros de FTIR do amido da semente de abacate, do extrato da casca de jabuticaba livre e das fibras de amido com extrato nas proporções 0, 3, 6, e 9% (m/m) estão dispostos na Figura 5. As respectivas bandas de absorção observadas durante a análise de grupos funcionais para cada amostra estão expostas na Tabela 6.

Figura 5 - Espectros FTIR do extrato da casca da jabuticaba não encapsulado, do amido da semente de abacate e das fibras de amido com diferentes concentrações de extrato da casca de jabuticaba



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Tabela 6 - Bandas de absorção do extrato da casca de jabuticaba puro, do amido da semente de abacate e das fibras de amido com as concentrações de 0, 3, 6 e 9% (m/m) extrato da casca de jabuticaba

Número de onda (cm <sup>-1</sup> )						
Vibração	Extrato	Amido	Concentração de extrato nas fibras (%)			
			0	3	6	9
$\nu$ OH; /NH	~3400	-	-	-	-	3451
$\nu$ OH/ $\nu$ NH	3239	3312	3369	3353	3337	3296
$\nu_s$ CH	2985	2936	2930	2920	2938	2968
$\nu_a$ CH	2920	2879	2800	2800	2800	2879
$\nu$ C=O	1735	-	-	-	-	-
$\delta$ OH	-	1718	1710	1710	1710	-
$\delta$ OH	-	1645	1645	1645	1645	1645
$\nu$ C=O	1637	-	-	-	-	-
$\nu$ C=C <sub>ar</sub>	1612	-	-	-	-	1546
$\delta_s$ CH <sub>2</sub>	-	1457	1465	1457	1457	1448
$\nu_s$ COO <sup>-</sup>	1444	-	-	-	-	-
$\delta_s$ CH <sub>3</sub> CO	1375	-	-	-	-	1408
$\nu_{as}$ =COC; $\delta$ COH	1204	-	-	-	-	-
$\nu_{as}$ COC	-	1152	1146	1146	1138	-
$\nu$ C-O	-	1081	1081	1089	1087	-
$\nu$ OCC	1032	1010	1015	1015	1015	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O extrato da casca da jabuticaba na forma não encapsulada apresentou bandas características de fenóis, flavonoides, carboidratos, ácidos e proteínas. Banda em  $\sim 3400\text{ cm}^{-1}$  referente a ( $\nu\text{O-H}$ ) livre e/ou ( $\nu\text{N-H}$ ) associado a amins primárias e/ou amins alifáticas e aromáticas,  $3239\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu\text{O-H}$  sobreposto a  $\nu\text{N-H}$ ) referente à hidroxila presente em álcoois, ácidos e proteínas, bandas em  $2985 - 2920\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu_{\text{s}}\text{C-H}$ ;  $\nu_{\text{a}}\text{C-H}$ ) das cadeias cíclicas e alifáticas, banda em  $1735\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu\text{C=O}$ ), em forma de ombro, referente aos grupos carbonila,  $1637\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu\text{C=O}$ ) de carboxila,  $1612\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu\text{C=C}$ ) de anel aromático. Ainda, foram observadas bandas em  $1444\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu_{\text{as}}\text{COO}^-$ ),  $1375\text{ cm}^{-1}$  ( $\delta_{\text{s}}\text{CH}_3\text{CO}$ ),  $1204\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu_{\text{as}}=\text{C-O-C}$ ;  $\delta\text{C-O-H}$  no plano) dos grupamentos ligados ao anel aromático e, por fim,  $1032\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu\text{O-C-C}$ ) de éter cíclico (Mahmud *et al.* 2020; Chen *et al.* 2021; Dong *et al.*, 2021).

O amido da semente de abacate na sua forma pura e a fibra de amido sem o extrato da casca de jabuticaba (0%), apresentaram bandas características de amido em  $3312 - 3369\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu\text{O-H}$ ), atribuídas às hidroxilas inter e intramoleculares entre as cadeias da amilose,  $2936 - 2930\text{ cm}^{-1}$  e  $\sim 2800\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu_{\text{s}}\text{C-H}$ ;  $\nu_{\text{a}}\text{C-H}$ ) da cadeia cíclica. Banda em  $1718 - 1710\text{ cm}^{-1}$  e  $1645\text{ cm}^{-1}$  ( $\delta\text{OH}$ ) referentes à ligação de hidrogênio na região amorfa dos grânulos. Bandas em  $1457 - 1465\text{ cm}^{-1}$  ( $\delta_{\text{s}}\text{CH}_2$ ) da amilopectina,  $1152 - 1146\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu_{\text{as}}\text{C-O-C}$ ) da ligação glicosídica alfa 1,4. Ainda foram observadas bandas em  $1081\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu\text{C-O}$ ) e  $1010 - 1015\text{ cm}^{-1}$  ( $\nu\text{-O-C-C}$ ) (Pires *et al.*, 2022).

As fibras de amido, incorporadas com extrato, 3% e 6%, apresentaram bandas características do extrato, assim como as fibras sem extrato (0%), sugerindo a não ter bandas presentes no extrato. No entanto, na concentração de 9%, foi observada a banda em  $3451\text{ cm}^{-1}$  referente a ( $\nu\text{O-H}$ ) livre e/ou ( $\nu\text{N-H}$ ) associado em amins primárias e/ou amins alifáticas e aromáticas, observada anteriormente no extrato puro, em algumas regiões espectrais, ocorreram deslocamentos de picos ou o surgimento de novos picos, sugerindo a formação de novas ligações ou interações o que sugere, para esta concentração, que as fibras de amido da semente de abacate apresentaram excesso do extrato não incorporado nos sítios ativos da fibra.

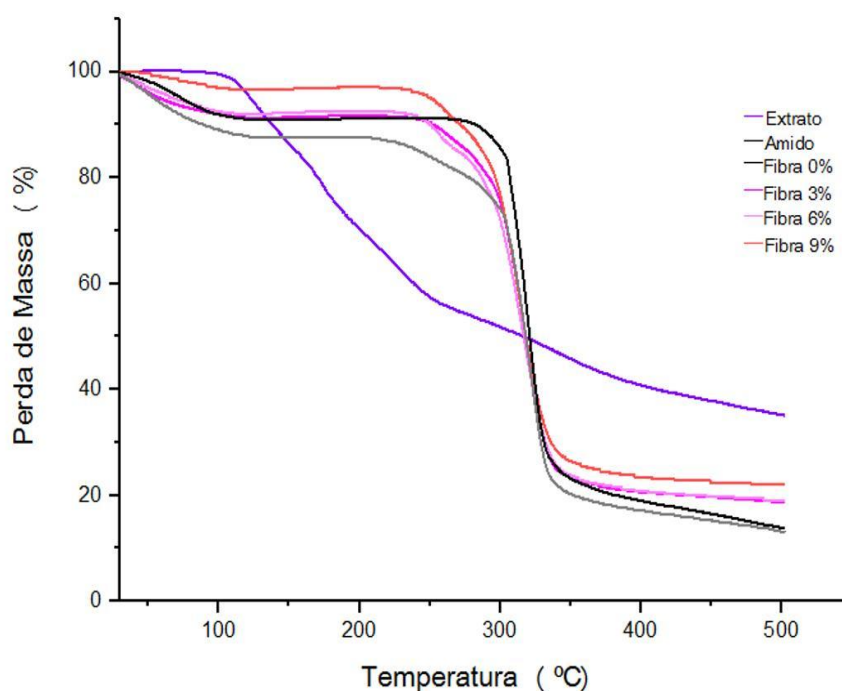


### 4.2.3 Análise termogravimétrica

A análise de termogravimétrica (TGA) gera resultados que permitem avaliar a estabilidade térmica das amostras quando submetidas ao aquecimento, determinando suas dimensões e a perda de massa. Também é possível a comparação entre diferentes termogramas de TGA antes do processo de encapsulação por *electrospinning* e após, assim possibilitando a obtenção de dados sobre a influência da técnica na estabilidade térmica dos compostos encapsulados.

Os termogramas do amido puro, do extrato da casca da jabuticaba não encapsulado e das fibras de amido com extrato encapsulado nas concentrações de 0, 3, 6 e 9% (m/m) estão na Figura 6. As temperaturas e perdas de massa observadas durante a análise térmica de cada amostra são demonstradas na Tabela 7.

Figura 6 - Curvas de perda de massa por TGA do extrato da casca da jabuticaba não encapsulado, do amido da semente de abacate puro e das fibras de amido com diferentes concentrações de extrato da casca da jabuticaba.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Tabela 7 - Propriedades térmicas do extrato da casca de jabuticaba encapsulado e não encapsulado, do amido da semente de abacate e das fibras de amido da semente de abacate com diferentes concentrações de extrato da casca da jabuticaba

Amostra/Parâmetros	Tp (°C)	Tp (°C)	$\Delta T$ (°C)	$\Delta m$ (%)	Tp0 (°C)*	Tp (°C)*	$\Delta T$ (°C)*	$\Delta m$ (%)*	$\Delta m_R$ (%)
Extrato da casca da jabuticaba	98.09	98.59	9.76	1.308	148.17	169.61	58.86	42.31	21.41
Amido da semente de abacate	48.54	69.50	47.53	8.698	304.30	318.07	13.77	71.41	5.69
Fibra 0%	41.11	62.46	43.56	10.714	307.11	318.77	25.66	55.79	18.44
Fibra 3%	260.27	265.49	10.15	7.862	303.06	316.92	30.25	56.14	15.04
Fibra 6%	245.30	261.07	15.77	7.817	297.93	314.11	35.9	60.59	10.84
Fibra 9%	264.83	272.36	21.41	10.892	300.55	315.05	31.83	57.78	9.16

Tp0= temperatura inicial, Tp= temperatura máxima do evento,  $\Delta T$ = variação de temperatura,  $\Delta m$ = perda de massa,  $\Delta m_R$ = massa do resíduo.  
\*Dados correspondentes ao segundo evento térmico apresentado pelas amostras. Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Todas as amostras analisadas apresentaram dois eventos térmicos. O primeiro evento térmico do extrato da casca da jabuticaba, com temperatura máxima de degradação ( $T_p$ ) em 98,59 °C, deve ser relativo a compostos voláteis e água, o segundo evento térmico ( $T_p$ ) em 169,61 °C, com maior perda de massa (42,3%), provavelmente relativo aos diversos compostos presentes no extrato, sendo eles, pigmentos, compostos antioxidantes, polifenóis, ácidos orgânicos, entre outros, seguindo uma degradação ao longo da análise e tendo um resíduo de 21,42%.

O amido é composto por moléculas de glicose e pode degradar-se termicamente por processos como gelatinização e retrogradação. O primeiro evento termogravimétrico do amido de abacate começa em temperaturas relativamente baixas ( $T_{p0}$ : 48,54 °C) e atinge a temperatura máxima de 69,50 °C ( $T_{p1}$ ). O segundo evento térmico em  $T_p$ : 304,30 °C está relacionado a degradação total das cadeias de glicose. A menor quantidade de resíduo ( $\Delta m_R$ : 5,7%) sugere uma decomposição extensa do amido e isto pode ser relacionado a maior superfície de contato do amido da semente de abacate na forma pura (grãos).

A fibra controle ou fibra 0% de extrato apresentou uma estabilidade térmica superior à do amido na forma pura, isto, possivelmente, pode ser atribuído aos componentes fibrosos e estruturais que compõem a fibra 0%. No segundo evento térmico, as fibras com adição de extrato apresentaram uma leve redução na estabilidade de 1,85 °C (3% de extrato da casca da jabuticaba); 4,66 °C (6% de extrato da casca da jabuticaba) e 3,72 °C (9% de extrato da casca da jabuticaba), quando comparadas com a fibra 0%. Além disso, constatou-se que o aumento de concentração de extrato resulta em uma diminuição na quantidade de resíduo, corroborando com a redução na estabilidade térmica das fibras com maiores teores de extrato.

#### **4.2.4 Eficiência de carregamento**

A eficiência de carregamento é o principal parâmetro utilizado para quantificar a efetiva concentração de compostos bioativos que foram aprisionados na matriz polimérica das fibras. Alguns fatores são capazes de influenciar diretamente neste parâmetro, proporcionando aumento ou redução na eficiência de carregamento. A concentração do polímero empregado e a concentração de extrato utilizado na

solução polimérica são parâmetros que influenciam diretamente na eficiência da técnica (Premjit *et al.*, 2022).

A concentração do extrato da casca de jabuticaba, encapsulado nas fibras de amido de semente de abacate, influenciou na eficiência de carregamento desse polímero, à medida que sua concentração foi aumentada ( $p < 0,05$ ), conforme disposto na Tabela 8.

Tabela 8 - Eficiência de carregamento após o processo de *electrospinning* para as fibras de amido da semente de abacate com diferentes concentrações de extrato da casca de jabuticaba

Fibras	Extrato (%, m/m) *	Eficiência de encapsulação (%)
Fibras 3%	3	96,30 ± 0,02 <sup>a</sup>
Fibras 6%	6	54,65 ± 0,01 <sup>c</sup>
Fibras 9%	9	59,44 ± 0,01 <sup>b</sup>

\*Concentração de extrato nas fibras expressa em % (m/m, em amido na solução polimérica); Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa entre os dados pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

As fibras contendo 3% de extrato apresentaram maior eficiência de carregamento (96,30%) em relação as demais, em contraponto, as fibras contendo 6% de extrato apresentaram menor eficiência de carregamento (54,65%). Ainda que as fibras contendo 9% do extrato tenham apresentado maior eficiência (59,44%) que as fibras contendo 6% de extrato, a diferença numérica entre os valores não foi muita expressiva.

As variações na eficiência de carregamento apresentadas pelas fibras 6 e 9%, deve estar relacionada com aumento do extrato na fibra (9%), contudo, não sendo proporcional a quantidade de extrato adicionado, esse comportamento pode estar interligado a menor interação com o material polimérico, ou saturação das fibras, indicando que estariam na capacidade máxima de aprisionamento dos compostos. Este último fenômeno foi comprovado através do estudo da espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier, o qual comprova que uma pequena porção do extrato não foi incorporado, ficando alocado nos sítios ativos da fibra, portanto, explicando a menor eficiência de carregamento.

Este comportamento em relação a diminuição da eficiência de carregamento à medida que aumenta o percentual de extrato nas fibras, também foi observado por Da Cruz *et al.* (2023), em suas fibras de amido de batata-doce amarela encapsuladas

com 3, 6 e 9% de extrato da casca de cebola roxa, que mostraram redução no percentual de eficiência de encapsulação. Os autores reportam valores de 75,40, 72,08 e 72,05%, respectivamente, ao aumento do percentual de extrato. Segundo Fonseca *et al.* (2020), a diminuição da eficiência de carregamento pode estar associada a uma menor interação do extrato adicionado com o material de parede usado, ocorrendo uma perda dos compostos durante o processo de obtenção das fibras ultrafinas por *electrospinning*.

#### 4.2.5 Atividade antioxidante das fibras da semente de abacate por ABTS e DPPH e compostos fenólicos totais

Na determinação da capacidade antioxidante, tanto por ABTS quanto por DPPH, todas as amostras (contendo diferentes % de extrato da casca da jabuticaba) foram estatisticamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ) (Tabela 9).

Tabela 9 - Compostos fenólicos e atividades antioxidantes das fibras de amido da semente de abacate carregadas com extrato da casca da jabuticaba em diferentes concentrações, frente aos radicais ABTS e DPPH

Amostra	Inibição dos radicais livres (%)		Compostos fenólicos mgGAE.g <sup>-1</sup>
	ABTS	DPPH	
Fibra 0%	21,28 ± 2,48 <sup>d</sup>	15,03 ± 0,14 <sup>d</sup>	206 ± 0,02 <sup>c</sup>
Fibra 3%	37,24 ± 0,21 <sup>c</sup>	15,04 ± 0,10 <sup>c</sup>	235 ± 0,01 <sup>b</sup>
Fibra 6%	52,92 ± 0,83 <sup>b</sup>	19,97 ± 0,51 <sup>b</sup>	239 ± 0,02 <sup>b</sup>
Fibra 9%	67,33 ± 0,21 <sup>a</sup>	27,03 ± 0,09 <sup>a</sup>	260 ± 0,02 <sup>a</sup>

<sup>a, b</sup>Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa entre os dados pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Elaborado pelo autor (2024).

As fibras de amido de semente de abacate, apresentaram atividade de eliminação do radical ABTS entre 21,28 e 67,33%, sendo a capacidade crescente com o aumento do percentual de extrato incorporado. Foi notável a influência positiva do percentual adicionado de extrato da casca da jabuticaba na eliminação dos radicais.

O mesmo comportamento foi observado frente ao radical DPPH, a capacidade de eliminação desses radicais também foi crescente em relação ao percentual de extrato. Porém, observaram-se valores menores de eliminação, comparados aos resultantes do método por ABTS, entre 15,03 e 27,03%. Possivelmente, os maiores valores obtidos por ABTS estejam ligados às características do extrato (hidrofílico) comportamento limitante para o método de DPPH. Conforme mencionado anteriormente, na avaliação do extrato da casca da jabuticaba livre, o método por ABTS pode ser aplicado a compostos hidrofílicos ou lipofílicos, sendo mais reativo que o radical DPPH.

A maior atividade antioxidante para ambos os radicais foi obtida nas fibras contendo 9% de extrato da casca da jabuticaba, já a menor atividade foi obtida para fibra controle (fibra 0%).

Todas as fibras deste estudo foram produzidas com o amido extraído da semente do abacate como material de parede e, possivelmente, o percentual de inibição dos radicais ABTS e DPPH apresentado pela fibra contendo 0% de extrato, esteja interligado aos compostos fenólicos presentes na semente do abacate. Segundo Wang; Bostic e Gu (2010), que estudaram oito variedades de abacate, o teor de compostos fenólicos presentes na polpa é influenciado pelo conteúdo destes compostos na semente do abacate.

Ainda, é importante relatar que a menor atividade antioxidante das fibras, pelos dois métodos, comparadas às encontradas no extrato da casca da jabuticaba não encapsulado ( $93,00 \pm 0,02\%$  e  $53,61 \pm 0,01\%$  por ABTS e DPPH, respectivamente), provavelmente, é decorrente da menor proporção de extrato encapsulado nas fibras em relação ao extrato livre.

O teor de compostos fenólicos nas fibras aumentou à medida que aumentou a concentração do extrato de casca de jabuticaba, as fibras contendo 9% apresentaram maior teor de compostos fenólicos ( $260 \pm 0,02^a$  mgGAE.g<sup>-1</sup>), as fibras contendo 3 e 6% não apresentaram diferença estatística quanto ao teor de composto fenólicos ( $p \geq 0,05$ ), e a fibra controle (0% de extrato) apresentou 206 mgGAE.g<sup>-1</sup>, isto, provavelmente, ocorreu devido aos compostos fenólicos presentes na semente do abacate. Segundo Daiuto *et al.* (2014), que estudaram as variedades Hass (51,60 mgGAE.g<sup>-1</sup>), Algarvia (704,0 mgGAE.g<sup>-1</sup>) e Hass brasileira (57,30 mgGAE.g<sup>-1</sup>), há teor variável de compostos fenólicos no abacate, portanto, é possível a presença destes compostos nas sementes do fruto.

#### **4.2.6 Bioacessibilidade de compostos fenólicos**

A bioacessibilidade de compostos bioativos corresponde à fração de compostos fenólicos liberados da matriz alimentar após a digestão gastrointestinal, tornando-se disponíveis para absorção intestinal (Pinto *et al.*, 2023a).

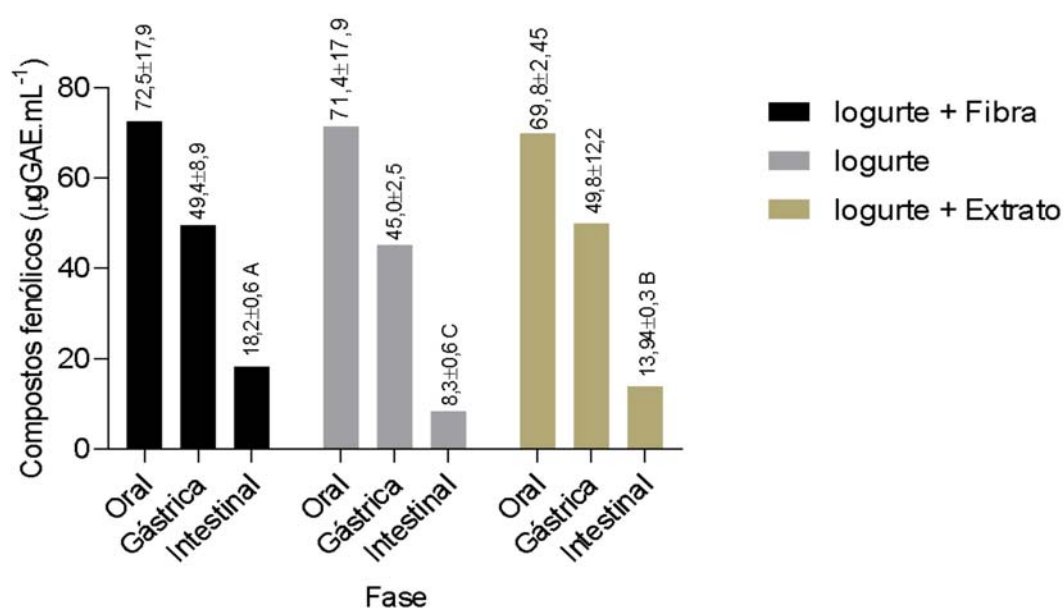
Para avaliar a bioacessibilidade dos compostos fenólicos presentes nas fibras de amido da semente de abacate, procedeu-se a adição destas fibras, carregadas com 9% de extrato da casca da jabuticaba, em iogurte natural, visando identificar a

influência da técnica de encapsulação na manutenção destes compostos bioativos numa matriz alimentar.

A escolha das fibras contendo 9% de extrato da casca da jabuticaba para a aplicação, justifica-se pela maior capacidade antioxidante e o teor de compostos fenólicos totais apresentado pela fibra contendo esse teor de extrato, em relação às demais produzidas.

O teor de recuperação fenólica na fase oral e gástrica não foi significativamente diferente entre as amostras, mostrando valores médios de recuperação de  $72,5 \pm 17,9$ ;  $71,4 \pm 17,9$  e  $69,3 \pm 2,45$   $\mu\text{gGAE.mL}^{-1}$  para a fase oral e  $49,4 \pm 8,9$ ,  $45,0 \pm 2,5$  e  $49,8 \pm 12,2$   $\mu\text{gGAE.mL}^{-1}$  para a fase gástrica, respectivamente, para o iogurte com adição de fibra com 9% de extrato da casca da jabuticaba, iogurte puro, e iogurte com adição de extrato da casca da jabuticaba livre, conforme a Figura 7.

Figura 7 - Teor de composto fenólicos bioacessível nas fases oral, gástrica e intestinal de iogurte natural



a, b Médias seguidas de letras maiúsculas distintas, diferem estatisticamente na fase pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A taxa de recuperação dos compostos fenólicos foi maior na fase oral, seguida da fase gástrica e menor na intestinal. A possível explicação da maior bioacessibilidade na fase oral, provavelmente, está relacionada ao rompimento das fibras pela ação da  $\alpha$ -amilase salivar, principal enzima presente nesta fase, cuja

função principal é hidrolisar polissacarídeos como o amido, que é o material de parede das fibras carregadas com extrato da casca da jabuticaba, aumentando a liberação dos compostos bioativos nesta fase (Kohlmeier, 2003)

A digestão gastrointestinal dos iogurtes contendo a adição de fibras carregadas com 9% de extrato da casca da jabuticaba e com extrato sem encapsular, mostrou diminuição na concentração de compostos fenólicos. Este comportamento já foi observado por Tu *et al.* (2021), no estudo das cascas de castanha chinesa (*Castanea molissima*) em que examinaram a bioacessibilidade após digestão *in vitro* e encontraram resultados similares aos do presente estudo, confirmando uma diminuição do teor de composto fenólicos durante a digestão gastrointestinal (fase gástrica: 83,58 e 47,14 mgGAE.mL<sup>-1</sup>, respectivamente, para casca e parte interna da castanha, e na fase intestinal: 56,69 e 32,47 mgGAE.mL<sup>-1</sup>, respectivamente).

Os presentes resultados indicam que as condições orais e gástricas proporcionadas pelas enzimas  $\alpha$ -amilase salivar e pepsina, e pelos fluidos digestivos em pH básico (7,0) e ácido (2-3) permitem que ocorra a liberação da maior parte dos compostos fenólicos presentes no extrato e nas fibras carregadas com o extrato da jabuticaba (Tu *et al.*, 2021).

Outra possível explicação para estes resultados pode estar relacionada a instabilidade dos compostos fenólicos às enzimas digestivas e pelas mudanças de pH do ácido (2-3) para o básico (6-7), que podem levar à degradação ou biotransformação em metabólitos, ou ainda podem ter ocorrido interações da matriz alimentar com o extrato, por meio dos aminoácidos, ácidos graxos e açúcares presentes no leite, que podem formar complexos com alguns compostos fenólicos e interferir na quantificação (Hu *et al.*, 2023). Cabe salientar que a avaliação da bioacessibilidade foi realizada após transcorrer 7 dias do preparo do iogurte, com a adição da fibra e/ou extrato. Aguardou-se esse tempo, a fim de simular condições mais próximas as de comercialização do produto.

A bioacessibilidade dos compostos fenólicos recuperados, após a simulação *in vitro* na fase intestinal, evidenciou diferença estatisticamente significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre as amostras. O iogurte contendo extrato da casca de jabuticaba encapsulado em fibras de amido da semente de abacate apresentou maior teor de compostos fenólicos que as demais amostras ( $18,2 \pm 0,6 \mu\text{gGAE.mL}^{-1}$ ), já o iogurte contendo o extrato da casca da jabuticaba na forma livre apresentou uma concentração intermediária ( $13,9 \pm 0,3 \mu\text{gGAE.mL}^{-1}$ ), entretanto, maior que o iogurte sem adição de



extrato ( $8,03 \pm 0,6$ )  $\mu\text{gGAE.mL}^{-1}$ , conforme pode-se visualizar na Figura 7. Assim, pode-se verificar que a encapsulação aumentou a bioacessibilidade dos compostos fenólicos de forma significativa na fase intestinal, comparada aos sem adição de fibra. Outra evidência, foi a manutenção da estrutura da fibra no produto alimentício, mesmo transcorridos 7 dias da sua adição. Tal fato reforça a viabilidade da encapsulação de bioativos nas fibras elaboradas com amido da semente do abacate.

#### 4.2.7 Capacidade de eliminar o radical ABTS após simulação *in vitro*

Os antioxidantes naturais presentes nas fibras de amido carregadas com extrato da casca de jabuticaba e aplicadas em iogurte, foram determinados para comprovar sua viabilidade em aplicações alimentícias, considerando que estes compostos apresentam propriedades que podem ser preventivas às doenças crônicas causadas por estresse oxidativo, como por exemplo, câncer, diabetes, envelhecimento prematuro, patologias neurológicas, cardiovasculares e metabólicas, ainda, por apresentarem propriedades de preservação dos alimentos, podendo ser empregados em substituição aos conservantes sintéticos, evitando a oxidação lipídica e a proliferação de microrganismos e consequentemente prolongando a vida útil (Pinto *et al.*, 2023b).

Os dados da capacidade de eliminação do radical ABTS nas fases oral, gástrica e intestinal estão na Tabela 10.

Tabela 10 - Efeito da atividade antioxidante sobre a porcentagem de inibição de radical ABTS

Amostra	Fases			p $\leq$ 0,05
	Oral	Gástrica	Intestinal	
iogurte	$7,54 \pm 0,51^{\text{Bb}}$	$61,47 \pm 0,59^{\text{Aa}}$	$7,78 \pm 0,44^{\text{Bb}}$	<0,0001
iogurte + Fibra	$12,13 \pm 3,18^{\text{ABb}}$	$61,47 \pm 0,59^{\text{Aa}}$	$13,84 \pm 0,28^{\text{Ab}}$	<0,0001
iogurte + Extrato	$14,10 \pm 0,97^{\text{Ab}}$	$60,21 \pm 0,50^{\text{Aa8}}$	$07 \pm 0,09^{\text{Bc}}$	<0,0001

<sup>A-B</sup> médias seguidas de letras maiúsculas distintas na coluna, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05). <sup>a-c</sup> médias seguidas de letras minúsculas distintas na linha, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05). Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Na fase oral, o iogurte contendo extrato da casca da jabuticaba livre e o iogurte adicionado de fibra carregada de extrato da casca da jabuticaba (9%) não diferiram significativamente quanto a capacidade antioxidante. O iogurte puro apresentou

menor capacidade antioxidante ( $7,75 \pm 0,97\%$ ). Já na fase gástrica as amostras apresentam capacidade de eliminação do radical livre estatisticamente iguais ( $60,21 \pm 0,50$  e  $61,47 \pm 0,59\%$ ).

Na fase intestinal a amostra de iogurte adicionado de fibras carregadas com extrato da casca da jabuticaba, apresentou maior percentual de eliminação do radical livre ( $13,84 \pm 0,28\%$ ), diferindo significativamente do iogurte adicionado de extrato da casca da jabuticaba na forma livre e do iogurte puro (os dois últimos estatisticamente iguais).

O menor percentual de eliminação do radical ABTS na fase oral, pode estar relacionado ao tempo de digestão de 2 minutos, que pode não ter sido suficiente para liberar os compostos antioxidantes, ou até mesmo as condições de pH alcalino, proporcionadas pela enzima  $\alpha$ -amilase salivar e fluido salivar pH (6-7), entretanto, as condições gástricas são mais favoráveis aos compostos antioxidantes, que são estáveis em pH ácido (2-3). Outra explicação plausível a este comportamento está relacionada a presença de grupos hidroxila (OH), que são liberados de monômeros presentes nos fenólicos ou até mesmo de agliconas na digestão gástrica, que podem favorecer as propriedades antioxidantes de forma eficaz após a digestão gástrica (Wu *et al.*, 2022).

A diminuição da atividade antioxidante na fase intestinal pode estar relacionada a maior liberação na fase gástrica, ou ainda a presença de outras moléculas que também são solúveis e que podem estar presentes no extrato e nas fibras carregadas de extrato, como os minerais, vitaminas e fibras, que podem acabar sendo liberados no meio digestivo e podem afetar a capacidade de eliminar radicais livres (Wu *et al.*, 2022).

## Conclusões

Ocorreram diferenças na viscosidade aparente e condutividade elétrica das soluções poliméricas produzidas com distintos teores de amido da semente de abacate, sendo a concentração de 20% a mais favorável à formação das fibras por *electrospinning*.

O extrato da casca de jabuticaba apresentou teor de compostos fenólicos totais e antocianinas totais iguais a 1.050,16 e 294,53 mg. g<sup>-1</sup>, respectivamente, e demonstrou capacidade de eliminação dos radicais livres ABTS e DPPH de 93,00 e 53,61%, evidenciando riqueza de bioativos. Ainda, apresentou cor característica das antocianinas, e teor de vitamina C de 176,6 mg.100 g<sup>-1</sup> de ácido ascórbico.

As fibras ultrafinas de amido da semente de abacate contendo ou não extrato encapsulado apresentaram morfologia lisa, contínua e uniforme, com diâmetros médios que variaram entre 328 e 188 nm, sendo a eficiência de encapsulação acima de 50% e a resistência térmica até, aproximadamente, 300 °C. Ademais, exibiram atividade antioxidante frente aos radicais livres ABTS, DPPH e teor de compostos fenólicos entre 206 e 260 mgGAE.g<sup>-1</sup>, aumentando com o teor de extrato nas fibras.

A técnica de encapsulação do extrato da casca da jabuticaba em fibras de amido da semente de abacate aumentou significativamente a bioacessibilidade dos compostos fenólicos e atividade antioxidante na fase intestinal da digestão, avaliada pelo processo *in vitro*.

Desta forma, o presente estudo demonstrou a possibilidade de aproveitamento de partes de vegetais normalmente descartadas, como semente e casca, para o enriquecimento de um produto alimentar com compostos bioativos, através de uma estratégia que permitiu ampliar a bioacessibilidade em nível intestinal.

## Referências

ABDILLAH, H.; CHABRAT, E.; ROUILLY, A.; RIGAL, L. Influence of citric acid on thermoplastic wheat flour/poly (lactic acid) blends II. Barrier properties and water vapor sorption isotherms. **Industrial Crops and Products**, v. 50, p.104–111, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.06.028>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669013003178>. Acesso em: 21 fev. 2023.

ALMINGER, M.; *et al.* *In vitro* models for studying secondary plant metabolite digestion and bioaccessibility. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 13, p. 413-436, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12081>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33412708/>. Acesso em: 20 mar. 2023.

ALVES, Annelise Kopp. **Obtenção de micro e nanofibras de TiO<sub>2</sub> por electrospinning: caracterização de propriedades e atividade fotocatalítica**. 2008. 136 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/13513/000649003.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 fev. 2023.

ALVIM, I. D.; GROSSO, C. R. F. Microparticles obtained by complex coacervation: influence of the type of reticulation and the drying process on the release of the core material. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 30, cap. 4, p. 1069-1076, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000400036>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/RSrG8PT37tHBrwpPcHLPxDn/?lang=em>. Acesso em: 25 jan. 2023.

AMAGLIANI, L.; O'REGAN, J.; KELLY, A.; O'MAHONY, J. Chemistry, structure, functionality, and applications of rice starch. **Journal of Cereal Science**, v. 70, p. 291-300, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.06.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0733521016301205>. Acesso em: 18 fev. 2023.

ANANGA, A.; GEORGIEV, V.; OCHIENG, J.; PHILLS, B.; TSOLOVA, V. Production of anthocyanins in grape cell cultures: A potencial source of raw material for pharmaceutical, food, and cosmetical industries. *In*: POLJUHA, D.; SLADONJA, B. (org.). **The Mediterranean Genetic Code – Grapevine and olive**. Tallahassee, FL: InTech, 2013. cap. 11. DOI: <https://doi.org/10.5772/54592> Disponível em: <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/44143.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2023.

ANTUNES, M.; DANNENBERG, G.; FIORENTINI, A.; PINTO, V.; LIM, L.; ZAVAREZE, E.; DIAS, A. Antimicrobial electrospun ultrafine fibers from zein containing eucalyptus essential oil/cyclodextrin inclusion complex. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 104, p. 874–882, 2017. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.06.095>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813017313284>. Acesso em:  
 04 jan. 2024.

ARAÚJO, Clinascia Rodrigues Rocha. **Composição Química, Potencial Antioxidante e Hipolipidêmico da Farinha da Casca de Myrciaria cauliflora (jaboticaba)**. 2011. 97f. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2011. Disponível em:  
<http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/handle/1/506>. Acesso em: 10 dez. 2023.

ARAÚJO, R. G.; RODRIGUEZ-JASSO, R. M.; RUIZ, H. A.; GOVEA-SALAS, M.; PINTADO, M. E.; AGUILAR, C. N. Process optimization of microwave-assisted extraction of bioactive molecules from avocado seeds. **Industrial Crops and Products**, v. 154, p. 112623, 2020.  
 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112623>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669020305392>. Acesso em: 09 abr. 2023.

ASCHERI, D. P. R.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Caracterização da farinha de bagaço de jaboticaba e propriedades funcionais dos extrusados. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 26, n. 4, p. 897-905, 2006.  
 DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000400029>. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/cta/a/HVDtRRGpn43DYqwrKL76cK/#:~:text=De%20acordo%20com%20os%20resultados,de%20sabor%20azedo%2Dadstringente%20e>. Acesso em: 05 mar. 2023.

ASSIS, L. M.; ZAVAREZE, E. R.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C.; SOUZA-SOARES, L. A. Revisão: Características de nanopartículas e potenciais aplicações em alimentos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, p. 99- 109, 2012.  
 DOI: <https://doi.org/10.1590/S1981-67232012005000004>. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/bjft/a/LKt5hYRHMhgQrzHZ4WdWxCp/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 25 jan. 2023.

AVILA, L.; FONTES, M.; ZAVAREZE, E.; MORAES, C.; MORAIS, M.; ROSA, G. Recovery of bioactive compounds from jaboticaba peels and application into zein ultrafine fibers produced by electrospinning. **Polymers**, v. 12, p. 1–19, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym12122916>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/12/12/2916>. Acesso em: 15 jan. 2024.

BASEGGIO, A. M.; *et al.* Jaboticaba peel extract suppress autophagy in White adipose tissue and prevents metabolic disorders in mice fed with a high-fat-diet. **Pharma Nutrition**, v. 6. p. 147 – 156, 2018.  
 DOI: 10.1016/j.phanu.2018.06.006. Disponível em:  
<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/331910>. Acesso em: 26 out. 2023.

BHARDWAJ, N.; KUNDU, S. C. Electrospinning: a fascinating fibers fabrication technique. **Biotechnology Advances**, v. 28, n. 3, p. 325-347, 2010.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.01.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975010000066>. Acesso em: 06 jan. 2024.

BOBRICH, A.; *et al.* Phytochemicals in Japanese plums: impact of maturity and bioaccessibility. **Food Research International**, v. 65, p. 20-26, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.030>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996914004256>. Acesso em: 08 mar. 2023.

BORA, P. S.; NARAIN, N.; ROCHA, R. V. M.; PAULO, M. Q. Characterization of the oils from the pulp and seeds of avocado (cultivar: Fuerte) fruits. **Grasas y aceites**, v. 52, n. 3-4, p. 171-174, 2001. DOI: <https://doi.org/10.3989/gya.2001.v52.i3-4.353>. Disponível em: <https://grasasyaceites.revistas.csic.es/index.php/grasasyaceites/article/view/353>. Acesso em: 05 mar. 2023.

BOUAYED, J.; HOFFMANN, L.; BOHN, T. Total phenolics, flavonoids, anthocyanins and antioxidant activity following simulated gastro-intestinal digestion and dialysis of apple varieties: bioaccessibility and potential uptake. **Food Chemistry**, v. 128, n. 1, p. 14-21, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.02.052>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814611003116>. Acesso em: 09 mar. 2023.

BRAND-WILLIANMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT- Food Science and Technology**, v. 28, p. 25-30, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643895800085>. Acesso em: 11 out. 2023.

CARDOSO, C.; AFONSO, C.; LOURENÇO, H.; COSTA, S.; NUNES, M. L. Bioaccessibility assessment methodologies and their consequences for the risk-benefit evaluation of food. **Trends in Food Science & Technology**, v. 41, n. 1, p. 5-23, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.08.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224414001897>. Acesso em: 05 mar. 2023.

CAVALCANTI, Rodrigo Nunes. **Extração de antocianinas de resíduo de jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) utilizando líquido pressurizado e fluido supercrítico: caracterização química, avaliação econômica e modelagem matemática**. 2013. 235 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/903313>. Acesso em: 21 nov. 2023.

CHEL-GUERRERO, L.; BARBOSA-MARTÍN, E.; MARTÍNEZ-ANTONIO, A.; GONZALEZ-MONDRAG, E.; BETANCUR-ANCONA, D. Some physicochemical and rheological properties of starch isolated from avocado seeds. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 86, p. 302-308, 2016.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.01.052>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014181301630054X>. Acesso em: 09 mar. 2023.

CHEN, P.; XIE, F.; ZHAO, L.; QIAO, Q.; LIU, X. Effect of acid hydrolysis on the multiscale structure change of starch with different amylose content. **Food Hydrocolloids**, v. 69, p. 359–368, 2017.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.03.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X16309973>. Acesso em: 28 jan. 2023.

CHEN, Y.; *et al.* Novel  $\gamma$ -cyclodextrin-metal–organic frameworks for encapsulation of curcumin with improved loading capacity, physicochemical stability and controlled release properties. **Food Chemistry**, v. 347, p. 128978, 2021.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128978>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814620328624>. Acesso em: 10 jan. 2024

CILLA, A.; ALEGRÍA, A.; BARBERÁ, R.; LAGARDA, M. J. Foods or Bioactive Constituents of Foods as Chemopreventives in Cell Lines After Simulated Gastrointestinal Digestion: A Review. *In*: MORALES-GONZÁLEZ, J. A. (org.). **Oxidative Stress and Chronic Degenerative Diseases - A Role for Antioxidants**.

México: InTech, 2013. p. 131-151. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/38831>. Acesso em: 04 mar. 2023.

COISSON, J. D.; TRAVAGLIA, F.; PIANA, G.; CAPASSO, M.; ARLORIO, M. *Euterpe oleracea* juice as a functional pigment for yogurt. **Food Research International**, v. 38, p. 893-897, 2005.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.03.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096399690500092X>. Acesso em: 25 jan. 2023.

COSTA, R. G. F.; OLIVEIRA, J. E.; PAULA, G. F.; PICCIANI, P. H. S.; MEDEIROS, E. S.; RIBEIRO, C.; MATTOSO, L. H. C. Eletrofiação de polímeros em solução. parte I: fundamentação teórica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 22, n. 2, p. 12-20, 2012.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282012005000026>. Disponível em: <https://revistapolimeros.org.br/journal/polimeros/article/doi/10.1590/S0104-14282012005000026>. Acesso em: 28 jan. 2023.

DA CRUZ, E. P.; *et al.* Red onion skin extract rich in flavonoids encapsulated in ultrafine fibers of sweet potato starch by electrospinning. **Food Chemistry**, v. 406, p. 134954, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134954>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814622029168>. Acesso em: 27 fev. 2023.

DAIUTO, E. R.; VIEITES, R. L.; TREMOCOLDI, M. A.; VILEIGAS, D. F. Estabilidade físico-química de um produto de abacate acondicionado em diferentes embalagens e conservado pelo frio. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 21, p. 97-105, 2010.

Disponível em: <https://acervo.ead.unesp.br/handle/11449/137729>. Acesso em: 06 mar. 2023.

DAIUTO, E. R.; TREMOCOLDI, M. A.; ALENCAR, S. M.; VIEITES, R. L.; MINARELLI, P. H. Composição química e atividade antioxidante da polpa e resíduos de abacate Hass. **Revista Brasileira Fruticultura**, v. 36, n. 2, p. 417-424, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-2945-102/13>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/xYxHYqHDVwKYjcpWDBhbfJS/>. Acesso em: 20 jan. 2024.

DE MIRANDA, N. L.; RECK, I. M.; CLEMENTE, E. Utilização de polpa de abacate em formulações de bebidas lácteas probióticas. **Revista Uningá Review**, v. 26, n. 3, p. 35-39, 2016. Disponível em: <https://revista.uninga.br/uningareviews/article/view/1803>. Acesso em: 06 mar. 2023.

DIAS, A. R. G.; ZAVAREZE, E. R.; ELIAS, M. C.; HELBIG, E.; SILVA, D. O.; CIACCO, C. F. Pasting, expansion and textural properties of fermented cassava starch oxidised with sodium hypochlorite. **Carbohydrate Polymers**, v. 84, p. 268-275, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.11.033>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861710009306>. Acesso em: 06 abr. 2023.

DONG, X.; ZHU, C.; HUANG, G.; XIAO, J. Fractionation and structural characterization of polysaccharides derived from red grape pomace. **Process Biochemistry**, v. 109, p. 37–45, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2021.06.022>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359511321002063>. Acesso em: 18 jan. 2024.

ECHEGOYEN, Y.; FABRA, M.; CASTRO-MAYORGA, J.; CHERPINSKI, A.; LAGARON, J. High throughput electro-hydrodynamic processing in food encapsulation and food packaging applications: Viewpoint. **Trends in Food Science and Technology**, v. 60, p. 71–79, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.019>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092422441630156X>. Acesso em: 19 fev. 2023.

ELIASSON, A. C. **Starch in food – Structure, function, and applications**. New York: Boca Raton, CRC, 2004. 605p.

EVANGELHO, J. A. do; *et al.* Thermal and irradiation resistance of folic acid encapsulated in zein ultrafine fibers or nanocapsules produced by electrospinning and electrospraying. **Food Research International**, v. 124, p. 137 – 146, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.019>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996918306252>. Acesso em: 26 jan. 2023.

ETCHEVERRY, P.; GRUSAK, M. A.; FLEIGE, L. E. Application of in vitro bioaccessibility and bioavailability methods for calcium, carotenoids, folate, iron, magnesium, polyphenols, zinc, and vitamins B6, B12, D, and E. **Frontiers in**



**Physiology**, v. 3, p. 317, 2012. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00317>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22934067/>. Acesso em: 05 mar. 2023.

FAVARO, Marta Maria Andreotti. **Extração, estabilidade e quantificação de antocianinas de frutas típicas brasileiras para aplicação como corantes**. Campinas, 2008, 162 p. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, 2007. Disponível em: [https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNICAMP-30\\_e46fb9e54f4f090335a3f73c9500cf0e](https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNICAMP-30_e46fb9e54f4f090335a3f73c9500cf0e). Acesso em: 04 mar. 2023.

FAVARO-TRINDADE, C. S.; PINHO, S. C.; ROCHA, G. A. Revisão: Microencapsulação de ingredientes alimentícios. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 11, n. 2, p.103-112, 2008. <http://www.ital.sp.gov.br/bj/artigos/bjft/2008/v11n24407.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2023.

FERNÁNDEZ-GARCIA, E.; CARVAJAL-LÉRIDA, I.; PÉREZGÁLVEZ, A. In vitro bioaccessibility assessment as a prediction tool of nutritional efficiency. **Nutrition Research**, v. 29, p. 751-760, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2009.09.016>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0271531709001730>. Acesso em: 08 mar. 2023.

FONSECA, L. M.; *et al.* Development of antimicrobial and antioxidant electrospun soluble potato starch nanofibers loaded with carvacrol. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 139, p. 1182–1190, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.096>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813019336475>. Acesso em: 18 jan. 2023.

FONSECA, L. M.; OLIVEIRA, J. P.; CRIZEL, R. L.; SILVA, F. T.; ZAVAREZE, E. R.; BORGES, C. D. Electrospun starch fibers loaded with pinhão (*Araucaria angustifolia*) coat extract rich in phenolic compounds. **Food Biophysics**, v. 15, n. 3, p. 355–367, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11483-020-09629-9>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11483-020-09629-9>. Acesso em: 22 mar. 2023.

FRASSON, S. F.; NUNES, G. T.; BIDUSKI, B.; MENDONÇA, C. R.B; COLUSSI, R. Extraction and characterisation of avocado seed starch (*Persea americana* Miller) and application in aerogels. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 58, p. 5388-5397, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.16657>. Acesso em: 10 jan. 2024.

FUH, Y.; WU, Z.; HE, Z.; HUANG, HU, W. The control of cell orientation using biodegradable alginate fibers fabricated by near-field electrospinning. **Materials Science & Engineering: C**, v. 62, p. 879–887, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.02.028>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928493116301163>. Acesso em: 18 fev. 2023.

GARCÍA-MORENO P. J.; MENDES A. C.; JACOBSEN C., CHRONAKIS I. S. Biopolymers for the nano-microencapsulation of bioactive ingredients by electrohydrodynamic processing. *In* GUTIÉRREZ, T. J. (org.). **Polymers for Food Applications** (1st ed.). Switzerland: Springer, 2018. p. 447-479. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-94625-2\\_17](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-94625-2_17). Acesso em: 29 jan. 2023.

GOMES, Demetrius Saraiva. **Eletrofiação de nanofibras poliméricas de poliacrilonitrila e polifluoreto de vinilideno, incorporadas com negro de fumo e ftalocianina de cobre, visando aplicações em dispositivos sensores**. 208. 124f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3140/tde-10042018-100722/pt-br.php>. Acesso em: 17 fev. 2023.

HASSIMOTTO, N. M. A.; GENOVESE, M. I.; LAJOLO, F. M. Antioxidant activity of dietary fruits, vegetables, and commercial frozen fruit pulps. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 8, p. 2928-2935, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf047894h>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15826041/>. Acesso em: 03 dez. 2023.

HU, Y.; *et al.* Bioaccessibility and bioavailability of phytochemicals: Influencing factors, improvements, and evaluations. **Food Hydrocolloids**, v. 135, p. 108165, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108165>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X22006853>. Acesso em: 15 jan. 2024.

IAL - Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos IV ed.** ZENEBON, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. (org.). São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020p. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/nutricaoobromatologia/files/2013/07/NormasADOLFOLUTZ.pdf>. Acesso em: 15 out. 2023.

JANSEN, E. T.; COSTA, I. H. de LIMA; DIAS, A. R. G.; ZAVAREZE, E. da R. Fibras eletrofiadas aplicadas em embalagens ativas e inteligentes para alimentos. *In*: MERCANTE, L. A.; CORRÊA, D. S. (org.). **Eletrofiação e nanofibras: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Atena Editora, 2023. p. 348-378. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/eletrofiacao-e-nanofibras-fundamentos-e-aplicacoes>. Acesso em: 14 jan. 2024.

KIM, H.-S.; HUBER, K. C. Reaction patterns of wheat starch granules substituted with an anionic propylene oxide analog (POA) revealed by confocal microscopy and 3D anaglyph imaging. **Carbohydrate Polymers**, v. 95, p. 492–500, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.03.023>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861713002610>. Acesso em: 01 fev. 2023.

KIM, I. G.; LEE, J.; UNNITHAN, A. R.; PARK, C.; KIM, C. S. A comprehensive electric field analysis of cylinder-type multi-nozzle electrospinning system for mass

production of nanofibers. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 31, p. 251–256, 2015.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2015.06.033>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1226086X15003123>. Acesso em: 18 fev. 2023.

KOHLMEIER, M. **Nutrient metabolism**. 1<sup>a</sup> ed. California: Academic Press, 2003. 829 p.

KOSIŃSKA-CAGNAZZO, A.; DIERING, S.; PRIM, D.; ANDLAUER, W. Identification of bioaccessible and uptaken phenolic compounds from strawberry fruits in *in vitro* digestion/Caco-2 absorption model. **Food Chemistry**, v. 170, p. 288- 294, 2015.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.070>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814614012941>. Acesso em: 07 mar. 2023.

LAURICELLA, M.; PONTRELLI, G.; COLUZZA, I.; PISIGNANO, D.; SUCCI, S.

Jetspin: A specific-purpose open-source software for simulations of nanofiber electrospinning. **Computer Physics Communications**, v. 197, p. 227-238, 2015.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cpc.2015.08.013>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010465515002994>. Acesso em: 16 fev. 2023.

LEE, J.; DURST, R. W.; WROLSTAD, R. E. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study. **Journal of AOAC International**, v. 88, n. 5, p. 1269–1278, 2005.

DOI: <https://doi.org/10.1093/jaoac/88.5.1269>. Disponível em:

<https://academic.oup.com/jaoac/article/88/5/1269/5657437>. Acesso em: 20 out. 2023.

LEES, D. H.; FRANCIS, S. J. Standardization of pigment analysis in cranberries. **Hortscience**, v. 7, n 1, p 83-84. 1972.

DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.7.1.83>. Disponível em:

<https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/7/1/article-p83.xml>. Acesso em: 10 ago. 2023.

LEMOS, D. M., ROCHA, A. P. T., SILVA, S. F. DA SOUSA, E. P. DE., OLIVEIRA, E. N. A. de. Determinação de compostos bioativos em blends de polpas de jabuticaba e acerola. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia (CONTECC), 2016, Foz do Iguaçu, Brasil. **Anais eletrônicos [...]**. Foz do Iguaçu: CONTECC, 2016.

Disponível em: <http://repositorio.ifap.edu.br/>. Acesso em: 14 dez. 2023.

LIANG, L.; *et al.* *In vitro* bioaccessibility and antioxidant activity of anthocyanins from mulberry (*Morus atropurpurea* Roxb.) following simulated gastro-intestinal digestion. **Food Research International**, v. 46, n. 1, p. 76-82, 2012.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.11.024>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096399691100648X>. Acesso em: 02 mar. 2023.

LIM, L.-T.; MENDES, A. C.; CHRONAKIS, I. S. Electrospinning and electrospraying technologies for food applications. *In*: LIM, L.-T.; ROGERS, M. (org.). **Advances in Food and Nutrition Research** (1st ed.). Cambridge: Academic Press, 2019. p. 167-234. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.02.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1043452619300208>. Acesso em: 28 jan. 2023.

LIMA, V. L. A. G.; MÉLO, E. de A.; LIMA, L dos S. Polpa congelada de acerola: efeito da temperatura sobre os teores de antocianinas e flavonóis totais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 3, p. 669-670, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452002000300024>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/RGpLNMtpgnHRqWJq9mpp96h/?lang=pt#:~:text=O%20congelamento%20promoveu%20redu%C3%A7%C3%A3o%20nos,pigmento%20antoci%C3%A2nico%20apresentou%20maior%20estabilidade>. Acesso em: 25 jan. 2023.

LIMA, V. L. A. G.; MÉLO, E. de A.; LIMA, D. E. da S. Efeito da luz e da temperatura de congelamento sobre a estabilidade das antocianinas da pitanga roxa. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 25, n. 1 p. 92-94, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612005000100015>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/x7BBmZBHwYJ55bcfxHdzyVR/>. Acesso em: 26 jan. 2023.

LIMA, A. D. J. B.; CORRÊA, A. D.; ALVES, A. P. C.; ABREU, C. M. P.; DANTAS-BARROS, A. M. Caracterização química do fruto jabuticaba (*Myrciaria cauliflora* Berg) e de suas frações. **Archivos Latino-Americanos de Nutricion**, v. 58, n. 4, p. 416-421, 2008. Disponível em: [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222008000400015](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222008000400015). Acesso em: 25 jan. 2023.

LIMA, B. S. et al. Antioxidant and Antiproliferative Activities of Extracts from Different Parts of *Uncaria tomentosa* (Cat's Claw). **Molecules**, v. 24, n. 14, p. 2498, 2019. DOI: 10.3390/molecules24142498. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/24/14/2498>.

MAHMUD, K.; MAKAJU, S.; IBRAHIM, R.; MISSAOUI, A. Current progress in nitrogen fixing plants and microbiome research. **Plants**, v. 9, n. 1, p. 97, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9010097>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31940996/>. Acesso em: 15 jan. 2024.

MARTINS, N.; RORIZ, C. L.; MORALES, P.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C. F.R. Food colorants: Challenges, opportunities and current desires of agro-industries to ensure consumer expectations and regulatory practices. **Trends in Food Science and Technology**, v. 52, p. 1–15, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.03.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224416300784>.

Acesso em: 04 mar. 2023.

MAZZA, G.; CACACE, J.E.; KAY, C.D. Methods of analysis for anthocyanins in plants and biological fluids. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, Gaithersburg, v. 87, n.1, p. 129-145, 2004. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15084096/>. Acesso em: 27 fev. 2023.

MENDES, A. C.; STEPHANSEN, K.; CHRONAKIS, I. S. Electrospinning of food proteins and polysaccharides. **Food Hydrocolloids**, v. 68, p. 53–68, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.10.022>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X1630594X>. Acesso em: 27 jan. 2023.

MENDONÇA, K.; JACOMINO, A. P.; MELHEM, T. X.; KLUGE, R. A. Concentração de etileno e tempo de exposição para desverdecimento de limão Siciliano. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 6, n. 2, p. 179-83, 2003. Disponível em: <http://www.lcb.esalq.usp.br/publications/articles/2003/bjftV6N2.pdf>. Acesso em: 19 out. 2023.

MINEKUS, M.; *et al.* A standardised static in vitro digestion method suitable for food - an international consensus. **Food & Function**, v. 5, n. 6, p. 1113–1124, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1039/c3fo60702j>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24803111/>. Acesso em: 14 mar. 2023.

MONTEIRO, V. A. R.; MARTINS, A. L.; BRANDÃO, E. M.; MELLO, E. M. C. Estudo das propriedades reológicas de fluidos de perfuração de poços em águas profundas. *In: Proceedings of the II Brazilian Conference on Rheology*, 2004, Rio de Janeiro – RJ. **Anais eletrônicos** [...]. Rio de Janeiro: PUC, 2004. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/19357/1/.pdf>. Acesso em: 04 jan. 2024.

MOREIRA, G. L. P.; VIANA, A. E. S.; ANDRADE, A. C. B.; CARDOSO, A. D.; SANTOS, V. S.; LOPES, S. C. Teores de amilose e amilopectina em genótipos de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). *In: XV Congresso Brasileiro de Mandioca*, 2013, Salvador. **Anais eletrônicos** [...]. Salvador: EMBRAPA - Mandioca e Fruticultura, 2013. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/977446/teores-de-amilose-e-amilopectina-em-genotipos-de-mandioca-manihot-esculenta-crantz>. Acesso em: 05 mar. 2023.

NASCIMENTO, M. R. F.; SOUZA, V. F. de; MARINHO, A. F.; ASCHERI, J. L. R.; MELEIRO, C. H. de A. Composição centesimal e mineral da farinhado caroço de abacate (*Persea gratissima*, Gaertner f.). *In: XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 2016, Gramado. **Anais eletrônicos** [...]. Gramado, RS: FAURGS, 2016. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1057908/1/67.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2023.

NIU, B.; SHAO, P.; LUO, Y.; SUN, P. Recent advances of electrosprayed particles as encapsulation systems of bioactives for food application. **Food Hydrocolloids**, v. 99, 105376, 2020.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105376>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X19316443>. Acesso em: 19 fev. 2023.

OLIVEIRA, A. A.; REIS, R. C.; VIANA, E. S.; SANTOS, B. J. R.; JESUS, J. L. Determinação dos teores de amilose e amilopectina do amido de bananas e plátanos. *In: X Jornada Científica EMBRAPA Mandioca e Fruticultura*, 10, 2016. Cruz das Almas, BA. **Anais eletrônicos** [...]. Cruz das Almas, BA: EMBRAPA, 2016. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/154459/1/AnaisJornada-2016-104.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2023.

OLIVEIRA, A. P.; GUIMARÃES, I. C.; MENEZES, E. G. T. Characterization of avocado pulp (*Persea americana* MILL) of the alto Paranaíba region. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 03, n. 06, p. 813-818, 2017. DOI: <https://doi.org/10.18540/jcecvl3iss6pp0813-0818>. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/2389>. Acesso em: 07 mar. 2023.

PAPENBURG, B. J.; *et al.* Designing porosity and topography of poly (1,3 - trimethylene carbonate) scaffolds. **Acta Biomaterialia**, v. 9, n. 9, p. 3281-3294, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2009.05.017>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19463974/>. Acesso em: 18 jan. 2023.

PINTO, Vitória Regina. **Avaliação da estabilidade físico-química, microbiológica, sensorial e dos compostos bioativos de geleias de jabuticaba elaboradas com diferentes tipos de açúcares durante o armazenamento**. 2020. Dissertação (Mestrado em Nutrição). Programa de Pós-Graduação em Saúde e Nutrição. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2020. Disponível em: <https://posnutricao.ufop.br/event/defesa-mestrado-vit%C3%B3ria-regina-pinto>. Acesso em: 15 dez. 2023.

PINTO, D.; *et al.* Metabolomic insights into phenolics-rich chestnut shells extract as a nutraceutical ingredient – A comprehensive evaluation of its impacts on oxidative stress biomarkers by an in-vivo study. **Food Research International**, v. 170, p.112963, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112963>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996923005082?via%3Dihub>. Acesso em: 15 jan. 2024.

PINTO, D.; *et al.* Simulated gastrointestinal digestion of Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) shell extract prepared by subcritical water extraction: Bioaccessibility, bioactivity, and intestinal permeability by *in vitro* assays. **Antioxidants**, v. 12, p. 1414, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox12071414>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3921/12/7/1414>. Acesso em: 15 jan. 2024.

PIRES, J. B.; *et al.* Curcumin encapsulation in capsules and fibers of potato starch by electrospraying and electrospinning: Thermal resistance and antioxidant activity. **Food Research International**, v. 162, n. 8, p. 112111, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112111>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996922011693?via%3Dihub#b0070>. Acesso em: 18 mar. 2023.

PREMJIT, Y.; PANDHI, S.; KUMAR, A.; RAI, D.; DUARY, R.; MAHATO, D. Current trends in flavor encapsulation: A comprehensive review of emerging encapsulation techniques, flavour release, and mathematical modelling. **Food Research International**, v. 151, p. 110879, 2022.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110879>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996921007791>. Acesso em: 25 fev. 2023.

PRIETTO, L.; *et al.* Ultrafine fibers of zein and anthocyanins as natural pH indicator. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 7, p. 2735–2741, 2018.

DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8769>. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29105097/>. Acesso em: 10 ago. 2023.

RADÜNZ, M.; *et al.* Encapsulation of broccoli extract by electrospraying: Influence of in vitro simulated digestion on phenolic and glucosinolate contents, and on antioxidant and antihyperglycemic activities.

**Food Chemistry**, v. 339, 128075, 2021.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128075>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814620319373>. Acesso em: 23 out. 2023.

RAIS, C.; *et al.* Antimicrobial and antioxidant activity of pulp extracts from three populations of *Ziziphus lotus* L. **Nutrition & Food Science**, v. 49, n. 6, p. 1014-1028, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1108/NFS-08-2018-0232>. Disponível em:

<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/NFS-08-2018-0232/full/html>. Acesso em: 14 dez. 2023.

RE, R.; PELEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICEEVANS, C. Antioxidant activity applying and improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, n. 9/10, p. 1231-1237, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10381194/>. Acesso em: 15 nov. 2023.

REYNERTSON, A. K.; *et al.* Bioactive depsides and anthocyanins from Jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*). **Journal of Natural Products**, v. 69, n. 8, 1228-1230, 2006.

DOI: <https://doi.org/10.1021/np0600999>. Disponível em:

<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/np0600999>. Acesso em: 15 abr. 2023.

ROSTAMABADI, H.; ASSADPOUR, E.; TABARESTANI, H.; FALSAFI, S.; JAFARI, S. Electrospinning approach for nanoencapsulation of bioactive compounds; recent advances and innovations. **Trends in Food Science and Technology**, v. 100, p. 190–209, 2020.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.012>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224420304416>. Acesso em: 21 fev. 2023.

ROSTAMI, M.; YOUSEFI, M.; KHEZERLOU, A.; MOHAMMADI, M.; JAFARI, S. Application of different biopolymers for nanoencapsulation of antioxidants via electrohydrodynamic processes. **Food Hydrocolloids**, v. 97, 105170, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.06.015>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X19302589>. Acesso em: 19 fev. 2023.

RUBIO, Fernanda Thaís Vieira. **Estudo da bio sorção de antocianinas da casca de jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) em resíduo de indústria de cerveja**. Campo Mourão, 2014, 57 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos). Curso Superior de Engenharia de Alimentos - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/6620>. Acesso em: 15 nov. 2023.

RUFINO, M. do S. M.; *et al.* **Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS<sup>•+</sup>**. Comunicado Técnico 128. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007. 4p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/426954/metodologia-cientifica-determinacao-da-atividade-antioxidante-total-em-frutas-pela-captura-do-radical-livre-abts>. Acesso em: 10 out. 2023.

SALLES, Tais Helena Costa. **Eletrofição de nanofibras de blendas de gelatina/pvp (poli (vinil pirrolidona)) a partir de soluções de água e ácido acético**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/903451>. Acesso em: 14 fev. 2023.

SENGUL, H.; SUREK, E.; NILUFER-ERDIL, D. Investigating the effects of food matrix and food components on bioaccessibility of pomegranate (*Punica granatum*) phenolics and anthocyanins using an in vitro gastrointestinal digestion model. **Food Research International**, v. 62, p. 1069-1079, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.055>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996914003706>. Acesso em: 03 mar. 2023.

SCHERER, R.; GODOY, H. T. Antioxidant activity index (AAI) by the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl method. **Food Chemistry**, v. 112, n. 3, p. 654-658, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.06.026>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814608007218>. Acesso em: 16 dez. 2023.

SHOJI, A. S.; *et al.* Viability of *L. acidophilus* microcapsules and their application to buffalo milk yoghurt. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, p. 83–88, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.08.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960308512000697>. Acesso em: 26 jan. 2023.

SILVA, G. O.; *et al.* Características físico-químicas de amidos modificados de grau alimentício comercializados no Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 1, p. 188–197, 2006.



DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000100030>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/bP5GMVtKq3xqXQq8y3C5Rbs/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 05 abr. 2023.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. J. R. Colorimetry of total phenolic with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144-158, 1965. DOI: <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>. Disponível em: <https://www.ajevonline.org/content/16/3/144>. Acesso em: 14 out. 2023.

SOUZA, D. S.; PIMENTELA, J. D. R.; OLIVEIRA JUNIOR, A. M. O. de. Avaliação da Influência de variáveis de processo sobre a cinética de desidratação osmótica da polpa de abacate (*Persea americana* L.). **Journal of Health Science**, v. 14, n. 1, p. 31-35, 2012. DOI: <https://doi.org/10.17921/2447-8938.2012v14n1p%25p>. Disponível em: <https://journalhealthscience.pgsskroton.com.br/article/view/1047>. Acesso em: 05 mar. 2023.

TACO. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos versão 2**. Campinas: Unicamp, 2006. Disponível em: [https://www.cfn.org.br/wp-content/uploads/2017/03/taco\\_4\\_edicao\\_ampliada\\_e\\_revisada.pdf](https://www.cfn.org.br/wp-content/uploads/2017/03/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf). Acesso em: 01 jan. 2024.

TAGLIAZUCCHI, D.; VERZELLONI, E.; BERTOLINI, D.; CONTE, A. *In vitro* bio-accessibility and antioxidant activity of grape polyphenols. **Food Chemistry**, v. 120, n. 2, p. 599-606, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.030>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814609012230>. Acesso em: 06 mar. 2023.

TEIXEIRA, L. N.; STRINGHETA, P. C.; DE OLIVEIRA, F. A. Comparação de métodos para quantificação de antocianinas. **Revista Ceres**, v. 55, n. 4, p. 297-304, 2008. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/20655/1/artigo.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2023.

TESTER, R. F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch – composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 2, p.151-165, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.12.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0733521003001139>. Acesso em: 15 abr. 2023.

TU, F.; XIE, C.; LI, H.; LEI, S.; LI, J.; HUANG, X.; YANG, F. Effect of *in vitro* digestion on chestnut outer-skin and inner-skin bioaccessibility: The relationship between biotransformation and antioxidant activity of polyphenols by metabolomics. **Food Chemistry**, v. 363, p. 130277, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130277>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34303061/>. Acesso em: 15 jan. 2024.

VALLS, J.; MILLÁN, S.; MARTÍ, M. P.; BORRÀS, E.; AROLA, L. Advanced separation methods of food anthocyanins, isoflavones and flavanols. **Journal of Chromatography A**, v. 1216, n. 43, p. 7143–7172, 2009.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.07.030>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021967309010206>. Acesso em: 05 mar. 2023.

VASCO, C.; RUALES, J.; KAMAL-ELDIN, A. Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits of Ecuador. **Food Chemistry**, v. 111, n. 4, p. 816–823, 2008.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.054>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814608005062>. Acesso em: 15 dez. 2023.

WANG, W.; BOSTIC, T. R.; GU, L. Antioxidant capacities, procyanidins and pigments in avocados of different strains and cultivar., **Food Chemistry**, v. 122, n. 4, p. 1193–1198, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.114>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814610004127>. Acesso em: 16 jan. 2024.

WANNATONG, L.; SIRIVAT, A.; SUPAPHOL, P. Effects of solvents on electrospun polymeric fibers: preliminary study on polystyrene. **Polymer International**, Sussex, v. 53, n. 11, p. 1851–1859, 2004.

DOI: <https://doi.org/10.1002/pi.1599>. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/pi.1599>. Acesso em: 15 fev. 2023.

WU, H.; XING, K.; LOU, M. F. Glutaredoxin 2 prevents H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-induced cell apoptosis by protecting complex I activity in the mitochondria. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1797, n. 10, p. 1705–1715, 2010.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbabbio.2010.06.003>. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20547138/>. Acesso em: 05 mar. 2023.

WU, H.; LIU, Z.; LU, P.; BARROW, C.; DUNSHEA, F. R.; SULERIA, H. A. R. Bioaccessibility and bioactivities of phenolic compounds from roasted coffee beans during in vitro digestion and colonic fermentation. **Food Chemistry**, v. 386, p. 132794, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132794>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814622007567?via%3Di%3Dhub>. Acesso em: 18 jan. 2024.

YÖRDEM, O. S.; PAPILA, M.; MENCELOĞLU, Y. Z. Effects of electrospinning parameters on polyacrylonitrile nanofiber diameter: An investigation by response surface methodology. **Materials & Design**, v. 29, n. 1, p. 34–44, 2008. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2006.12.013>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261306906003967>. Acesso em: 15 fev. 2023.

YU, J.; QIU, Y.; *et al.* Production of aligned helical polymer nanofibers by electrospinning. **European Polymer Journal**, v. 44, p. 2838–2844, 2008.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2008.05.020>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0014305708002528>. Acesso  
em: 15 fev. 2023.