

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ISABELLA ADONA PERONDI

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILME BIODEGRADÁVEL À
BASE DE AMIDO CONTENDO CASCA DE JABUTICABA (*Myrciaria cauliflora*)**

DOIS VIZINHOS

2021

ISABELLA ADONA PERONDI

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILME BIODEGRADÁVEL À
BASE DE AMIDO CONTENDO CASCA DE JABUTICABA (*Myrciaria cauliflora*)**

**Development and characterization of starch-based biodegradable film containing
jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) peel**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Dois Vizinhos, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia.

Orientadora: Profa. Dra. Milene Oliveira Pereira

DOIS VIZINHOS

2021

ISABELLA ADONA PERONDI

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILME BIODEGRADÁVEL À
BASE DE AMIDO CONTENDO CASCA DE JABUTICABA (*Myrciaria cauliflora*)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, do curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 11/maio/2021

Paula Fernandes Montanher
Doutorado em Química
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Francisco Menino Destéfanis Vítola
Doutorado em Processos Biotecnológicos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Andréia Anschau
Doutorado em Engenharia Química
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**DOIS VIZINHOS
2021**

RESUMO

Tecnologias alternativas estão sendo desenvolvidas para a minimização do uso de plásticos, e a utilização de polímeros biodegradáveis vem ganhando destaque. Os polímeros biodegradáveis, como amidos e polipeptídios, são empregados em filmes biodegradáveis, juntamente com agentes plastificantes e solventes, e consistem em finas camadas de matriz polimérica que são degradados pela ação de microrganismos. Uma classe de filmes que vêm sendo desenvolvida são os filmes a base de frutas e vegetais, que oferecem boas propriedades de barreira, propriedades mecânicas e permitem a incorporação de aditivos naturais, como antioxidantes. A jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) é uma fruta nativa brasileira, que possui em sua casca uma alta atividade antioxidante e teor de compostos bioativos elevado, apresentando um grande potencial para ser aplicada em filmes ativos. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi desenvolver e caracterizar filmes biodegradáveis à base de amido e gelatina contendo casca de jabuticaba. Para isso, as cascas de jabuticabas foram analisadas quanto a composição centesimal, o teor de compostos bioativos e a atividade antioxidante. Para a produção dos filmes foram utilizados fécula de mandioca, gelatina, glicerol e casca de jabuticaba em diferentes concentrações. Os filmes foram caracterizados avaliando o aspecto visual, a espessura, propriedades mecânicas, solubilidade em água, permeabilidade ao vapor de água, microscopia eletrônica de varredura, calorimetria exploratória diferencial, atividade antioxidante, compostos fenólicos e antocianina. Em relação a caracterização da casca de jabuticaba, o subproduto da fruta possui composição centesimal rica em fibras, proteínas e carboidratos, além disso, a casca possui um grande teor de compostos fenólicos e antocianinas e uma elevada atividade antioxidante. A produção dos filmes biodegradável resultou em filmes homogêneos e maleáveis, e a adição do extrato de casca de jabuticaba (CJ) não afetou a espessura média dos filmes, porém, teve influência direta nas propriedades mecânicas de alongação e resistência a tração, onde, o aumento da concentração de CJ tornou os filmes mais elásticos e menos resistentes. Os filmes desenvolvidos apresentaram boas propriedades térmicas e propriedades físico-químicas, as quais foram afetadas pela concentração de CJ, o aumento da concentração provocou um decréscimo na solubilidade em água, aumento na permeabilidade ao vapor de água dos filmes e alteração na coloração das formulações. Ao analisar a microestrutura dos filmes foi possível notar um aumento na heterogeneidade da matriz polimérica do filme, além disso, constatou-se que os filmes não preservaram os compostos bioativos e a atividade antioxidante presente na CJ. Em geral, os resultados obtidos no presente trabalho demonstram que os filmes apresentaram boas características, porém, não foram capazes de incorporar as propriedades bioativas da casca de jabuticaba.

PALAVRAS-CHAVE: Polímeros. Biodegradação. Compostos bioativos. Extratos vegetais.

ABSTRACT

Alternative technologies are being developed to minimize the use of plastics, and the use of biodegradable polymers is gaining prominence. Biodegradable polymers, such as starches and polypeptides, are used in biodegradable films, together with plasticizers and solvents, and consist of thin layers of polymeric matrix that are degraded by the action of microorganisms. A class of films that is being developed are films based on fruits and vegetables, which offer good barrier properties, mechanical properties and allow the incorporation of natural additives, such as antioxidants. Jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) is a native Brazilian fruit, which has a high antioxidant activity in its rind and a high content of bioactive compounds, high potential to be applied in active films. In this context, the objective of the present work was to develop and characterize biodegradable films based on starch and gelatin containing jaboticaba peel. For this, the peels of jaboticaba were analyzed for a proximate composition, the content of bioactive compounds and an antioxidant activity. Cassava starch, gelatin, glycerol and jaboticaba peel were used in the production of the films. The films were characterized by evaluating the visual aspect, thickness, mechanical properties, water solubility, water vapor permeability, scanning electron microscopy, differential scanning calorimetry, antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanin. Regarding the characterization of the jaboticaba peel, the fruit by-product has a proximate composition rich in fibers, proteins and carbohydrates, in addition, the peel has a high content of phenolic compounds and anthocyanins and a high antioxidant activity. The production of biodegradable films resulted in homogeneous and malleable films, and the addition of jaboticaba peel extract (CJ) did not affect the average thickness of the films, but had a direct influence on the mechanical properties of elongation and tensile strength, where, the increase the concentration of CJ became the most elastic and least resistant films. The produced films showed good thermal properties and physical-defined properties, which were affected by the CJ concentration, the increase in concentration caused a decrease in water solubility, an increase in the water vapor permeability of the films and a change in the color of the formulations. When analyzing a microstructure of the films it was possible to notice an increase in the heterogeneity of the polymeric matrix of the film, in addition, it was found that the films did not preserve the bioactive compounds and an antioxidant activity present in the CJ. In general, the results obtained in the present work demonstrate that the good characteristic source films, however, were not able to incorporate the bioactive properties of the jaboticaba pell.

KEYWORDS: Polymers. Biodegradation. Bioactive compounds. Plant extracts.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	OBJETIVOS	8
2.1.	OBJETIVO GERAL	8
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
3.1.	FILMES BIODEGRADÁVEIS	9
3.1.1.	Matérias primas	10
3.1.2.	Produção de filmes biodegradáveis	11
3.1.3.	Características dos filmes biodegradáveis	12
3.2.	FILMES COM ADIÇÃO DE FRUTAS E VEGETAIS	13
3.3.	JABUTICABA (<i>Myrciaria cauliflora</i>)	14
4	METODOLOGIA	16
4.1.	PREPARO DAS CASCAS DE JABUTICABA	16
4.2.	CARACTERIZAÇÃO DA CASCA DE JABUTICABA	16
4.2.1.	Composição centesimal	16
4.2.2.	Determinação de compostos bioativos	16
4.2.2.1.	Extratos da casca de jabuticaba (<i>Myrciaria cauliflora</i>)	16
4.2.2.2.	Compostos fenólicos totais	17
4.2.2.3.	Antocianinas totais	17
4.2.3.	Atividade antioxidante pela captura do radical livre DPPH	17
4.3.	PRODUÇÃO DO FILME	18
4.4.	CARACTERIZAÇÃO DO FILME	19
4.4.1.	Aspecto visual	19
4.4.2.	Espessura	20
4.4.3.	Propriedades mecânicas	20
4.4.4.	Solubilidade em água	21
4.4.5.	Permeabilidade ao vapor de água	21
4.4.6.	Análise colorimétrica	23
4.4.7.	Microscopia eletrônica de varredura	23
4.4.8.	Calorimetria exploratória diferencial (DSC)	23
4.4.9.	Propriedades bioativas dos filmes produzidos	23
4.5.	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	24
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25

5.1.	CARACTERIZAÇÃO DA CASCA DE JABUTICABA	25
5.1.1.	Composição centesimal	25
5.1.2.	Compostos bioativos e atividade antioxidante da casca de jabuticaba	26
5.2.	CARACTERIZAÇÃO DO FILME BIODEGRADÁVEL.....	28
5.2.1.	Propriedades mecânicas	28
5.2.2.	Propriedades físico-químicas	30
5.2.3.	Propriedades térmicas	34
5.2.4.	Microestrutura dos filmes	36
5.2.5.	Propriedades bioativas dos filmes	38
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

Os plásticos consistem em materiais poliméricos amplamente utilizados pela sociedade moderna devido a suas propriedades mecânicas, multifuncionalidade e baixo custo. Atualmente o consumo de plástico no mundo vem aumentando consideravelmente, sendo que em 2016, segundo Kaza et al. (2018), foram gerados aproximadamente 242 milhões de toneladas de resíduos plásticos, causando um sério problema ambiental.

Devido à alta geração de resíduos, tecnologias alternativas estão sendo desenvolvidas para a substituição deste material, entre elas, a utilização de polímeros biodegradáveis têm ganhado destaque. Os polímeros biodegradáveis são materiais degradados pela ação natural de microrganismos, e podem ser constituídos por matérias primas de fonte renovável, como biomassa vegetal, proteínas e amidos, evitando a utilização de fontes fósseis (BRITO et al., 2011).

Os filmes biodegradáveis são compostos por uma matriz formada por macromoléculas, como polissacarídeos, polipeptídios ou lipídeos, um agente plastificante, necessário para a redução das forças intermoleculares da cadeia polimérica, e um solvente, onde usualmente é utilizado a água. Conforme Janjarasskul e Krochta (2010), estes filmes apresentam diversas características interessantes, como a permeabilidade seletiva de gases, boas propriedades mecânicas, atuam como barreira na transferência de massa e permitem a incorporação de aditivos que agregam propriedades antimicrobianas e antioxidantes.

Dentre os filmes biodegradáveis, uma classe que vêm ganhando destaque desde os anos 90, quando começaram a serem estudados por McHugh e colaboradores, são os filmes compostos à base de frutas e vegetais. A partir de então, diversos trabalhos estão sendo desenvolvidos, onde frutas e vegetais são utilizados devido a suas características, tais como propriedades mecânicas, propriedades térmicas, barreira a umidade e gases, aumento do tempo de prateleira e propriedades nutricionais. Além disso, frutas e vegetais destacam-se pelo teor de compostos bioativos e pela ação antioxidante, e quando são adicionadas à matriz polimérica de um filme ou revestimento pode favorecer a conservação de alimentos fazendo com que estes materiais sejam potencialmente aplicados na indústria alimentícia (DANTAS et al., 2015).

Uma potencial fruta rica em antioxidantes naturais para ser aplicada em filmes é a *Myrciaria cauliflora*, popularmente conhecida como jabuticaba, que pertence à família Myrtaceae, e está presente na maior parte do território brasileiro. Segundo Araújo (2011), a casca da jabuticaba, é um material rico em fibras e carboidratos, além de possui um grande teor

de compostos fenólicos e antocianinas, apresentando propriedades anticancerígenas e antioxidantes, atuando também no combate a doenças crônicas (BRAGA et al., 2018).

Tendo em vista estes fatores, a produção de um filme biodegradável à base de amido com adição de casca de jabuticaba se torna uma alternativa interessante para a substituição do plástico. Além disso, o filme produzido possui potencial para ser aplicado na indústria alimentícia, pois além de fornecer uma barreira inerte as condições externas, promove também a conservação de alimento, melhora a segurança e o tempo de prateleira, devido aos compostos bioativos presentes na casca de jabuticaba.

2 OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Desenvolver e caracterizar filme biodegradável à base de amido e gelatina contendo casca de jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*).

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a composição da casca de jabuticaba;
- Quantificar os compostos bioativos e a atividade antioxidante da casca de jabuticaba;
- Verificar a influência da concentração de casca de jabuticaba sobre a espessura, permeabilidade ao vapor de água, solubilidade em água, coloração, microestrutura, propriedades mecânicas dos filmes e propriedades térmicas dos filmes;
- Determinar compostos bioativos e a atividade antioxidante dos filmes;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. FILMES BIODEGRADÁVEIS

A busca por novos tipos de materiais que possam substituir os derivados do petróleo vem aumentando cada vez mais, com o intuito de minimizar os impactos ambientais, e a demanda por produtos alimentícios de qualidade e de longa duração, com aparência natural e fresca, motivou estudos para o desenvolvimento de novos materiais (GUILBERT, GONTARD, GORRIS, 1996).

Os filmes biodegradáveis, consistem em materiais compostos por polímeros biodegradáveis de fontes renováveis que podem ser degradados por microrganismos (SOUZA, SILVA, DRUZIAN, 2012; ASTM D6400, 2019), onde sua composição básica pode ser formada por uma biomolécula, um plastificante e um solvente. Segundo Guilbert, Gontard e Gorris (1996), os filmes podem ser camadas finas de um material aplicado como barreira entre alimentos e o ambiente, e conforme sua composição, podem ser consumidos como parte do produto, tornando-os comestíveis.

A biodegradação consiste em um processo natural, no qual, os compostos orgânicos são degradados e convertidos em moléculas de baixa massa molar pelos microrganismos (bactérias, fungos, algas), sendo posteriormente, mineralizados e voltam ao meio ambiente por meio dos ciclos elementares (MALHERBI, 2015). De acordo com Fachine (2013), este processo ocorre em duas etapas, a despolimerização e a mineralização, onde, normalmente, os microrganismos realizam a degradação por ação enzimática. A degradação de polímeros biodegradáveis é um processo relativamente rápido, levando em torno de 6 a 12 meses, enquanto de polímeros sintéticos pode durar de 40 até 200 anos (COUTINHO et al., 2004).

A partir de uma mesma matriz polimérica biodegradável, podem ser feitas duas aplicações diferentes, os filmes e os revestimentos. Os filmes são estruturas formadas de forma independente, sendo aplicados depois de prontos (OTONI et al., 2017). Já os revestimentos, utilizados em frutas e vegetais, são formados diretamente na superfície do alimento, promovendo a conservação pós-colheita ou produção (ASSIS, BRITTO, 2014). Os filmes são amplamente aplicados na indústria de embalagens para alimentos e embalagens comestíveis, dependendo de sua composição (DAVANÇO, 2006), devido a suas características e possibilidade de agregação de compostos que melhoram suas propriedades (WANG et al., 2011a).

3.1.1. Matérias primas

As matérias primas para a composição da solução filmogênica são, essencialmente, uma biomolécula, podendo esta ser uma proteína, carboidrato ou lipídeo, um agente plastificante, e um solvente, usualmente, a água (OTONI et al., 2017).

As proteínas consistem em um heteropolímero natural constituído a partir de inúmeras combinações diferentes de 20 aminoácidos unidos por ligação peptídica, um tipo específico de ligação covalente, que apresentam as mais variadas funções em organismos vivos (NELSON, COX, 2018). Essas moléculas são biodegradáveis, comestíveis e renováveis, podendo melhorar a qualidade e a estabilidade de muitos alimentos (HERNANDEZ-IZQUIERDO, KROCHTA, 2008). Filmes proteicos exibem redes de macromoléculas contínuas com pouca umidade, apresentando boas propriedades mecânicas e alta barreira a gases devido a sua polaridade, porém, não apresentam boa barreira ao vapor de água (KROCHTA, BALDWIN, NISPEROS-CARRIEDO, 1994). A gelatina, que é uma mistura de polipeptídios, derivada do colágeno, é muito utilizada em biofilmes devido as suas propriedades, como solubilidade em água, baixo custo, fácil acesso, boa gelificação e formação de filme, boas propriedades mecânicas e barreira a gases (ANDREUCETTI, 2010; WANG et al., 2011b).

Os carboidratos são polímeros naturais cuja unidade monomérica é um monossacarídeo, que desempenham um importante papel no metabolismo energético dos organismos (VOET, VOET, PRATT, 2014). Os carboidratos são utilizados em filmes pois possuem baixo custo, ampla disponibilidade de material, são derivados de fontes renováveis e conferem aos filmes uma boa barreira contra gases (PINHEIRO et al., 2010). Os amidos, um tipo de polissacarídeo formado por amilose e amilopectina, são muito aplicados em filmes em consequência de suas propriedades químicas e físicas, além de sua capacidade de formar géis que podem se solidificar de forma resistente (MALI, GROSSMANN, YAMASHITA, 2010).

O amido de mandioca, também conhecido como fécula de mandioca, é um dos principais amidos utilizados em filmes, devido ao baixo custo e grande disponibilidade de matéria-prima, onde destaca-se a sua abundância no estado do Paraná, sendo responsável por cerca de 70% da produção nacional de amido em 2013, segundo a Associação Brasileira de Produtores de Amido de Mandioca (ABAM, 2014). Além disso, filmes a base de fécula de mandioca proporcionam resultados satisfatórios, relatados nos estudos de Hayashi et al. (2006) e de Souza, Silva e Druzian (2012).

Os agentes plastificantes são compostos hidrofílicos de baixo peso molecular e não voláteis, podendo ser xaropes de frutose-glicose, polióis, lipídeos e outros. São utilizados para

melhorar o processamento e as características do filme, sendo que a função destes agentes é reduzir o nível de interação das cadeias poliméricas, o que ocasiona uma diminuição na rigidez e fragilidade, melhorando as propriedades mecânicas do filme (JANJARASSKUL, KROCHTA, 2010). O glicerol, também conhecido como glicerina vegetal, é um plastificante muito utilizado em soluções filmogênicas, proporcionando resultados satisfatórios quando combinados com amido de mandioca, exibidos nos trabalhos de Dantas et al. (2015) e Farias et al. (2012).

3.1.2. Produção de filmes biodegradáveis

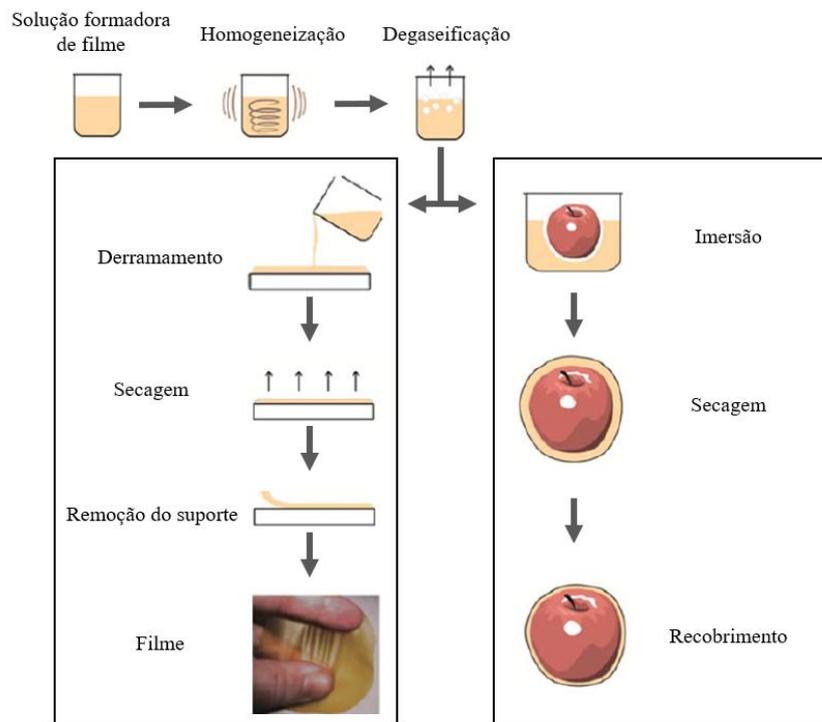
Inicialmente, para a produção do filme é feita uma solução filmogênica, onde todos os componentes que irão constituir o material são misturados e homogeneizados. Esta homogeneização pode ser feita em agitação lenta, moderada ou alta, pela associação de agitação e banho de ultrassom ou pela microfluidização de alta pressão (OTONI et al., 2017), a fim de formar uma matriz coesa e contínua. Geralmente, a formação de filmes envolve associações intermoleculares e intramoleculares ou reticulação de cadeias poliméricas (THARANATHAN, 2003).

A partir de uma solução filmogênica, duas aplicações diferentes podem ser feitas, os filmes e os revestimentos. Os revestimentos, são utilizados, majoritariamente, em frutas e vegetais, onde são formados diretamente na superfície do alimento, promovendo a conservação pós-colheita (ASSIS, BRITTO, 2014). Enquanto os filmes são estruturas formadas de forma independente, sendo aplicados depois de prontos (OTONI et al., 2017).

De acordo com Debeaufort, Quezada-Gallo e Voilley (1998), o processo de formação de filme pode ser feito por fusão e solidificação de gorduras, coacervação simples, coacervação complexa ou por gelificação. Segundo Otoni et al. (2017), o método mais utilizado atualmente é a técnica *casting*, devido a termosensibilidade dos compostos, que é baseado no mecanismo de coacervação, onde um hidrocolóide disperso em solução aquosa, que consiste na solução filmogênica, é precipitado por secagem. Dependendo do número de biopolímeros no solvente a coacervação pode ser simples ou complexa (JANJARASSKUL, KROCHTA, 2010).

A técnica de *casting* é simples, e consiste no derramamento de um volume da solução filmogênica em um suporte liso de área conhecida, e então, deixada em repouso em temperatura controlada para que haja a evaporação do solvente, propiciando a formação do filme (ANDREUCCETTI, 2010). A figura 1 exibe uma representação esquemática de como é feita a produção de filmes e revestimentos.

Figura 1 - Produção de filmes e revestimentos



Fonte: Adaptado de Otoni et al., 2017.

3.1.3. Características dos filmes biodegradáveis

Segundo Stoll (2015) os filmes biodegradáveis possuem várias características que podem variar de acordo com sua composição e com o tipo de finalidade que se deseja para o material, devendo apresentar um aspecto visual homogêneo, sem a presença de partículas insolúveis e poros (BATISTA, 2004). Um parâmetro muito importante e de grande influência nas características dos filmes é a espessura, pois a partir desta medida muitas informações podem ser fornecidas, entre elas estão as propriedades mecânicas, as propriedades de barreira e a homogeneidade do filme (PATZER, 2013).

As propriedades mecânicas dos filmes mais analisadas são a resistência a tração, alongação e elasticidade, sendo que, no geral, apresentam baixos valores de resistência a tração, mas alongação variável, dependendo dos materiais que o constituem (PINHEIRO et al., 2010). De acordo com Silva (2011), estas propriedades dependem de uma série de fatores, sendo eles a espessura e as características do material filmogênico, que influenciam na estrutura molecular, na densidade, no grau de cristalinidade do filme e na temperatura de transição vítrea. Outro fator que influencia as propriedades mecânicas é o processamento do filme, que determina a

orientação das moléculas e o grau de cristalinidade, além de influenciar na homogeneidade da solução filmogênica.

A solubilidade em água é outra característica muito importante para filmes biodegradáveis, sendo um dos parâmetros para o direcionamento da aplicação do filme (FAKHOURI et al., 2007), podendo ser desejada ou não. A solubilidade em água é influenciada pela concentração e tipo do agente plastificante, de acordo com estudos desenvolvidos por Müller, Yamashita e Laurindo (2008).

A cor e opacidade do filme são características muito relevantes, pois exibem a transparência do material, indicando o quanto de luz consegue atravessá-lo, sendo um fator de importância para a aceitação do consumidor, quando aplicado na área alimentícia (PINHEIRO et al., 2010).

As propriedades de barreiras são essenciais em filmes biodegradáveis, sendo as principais as barreiras a umidade e a gases, onde o processo de difusão pelo filme depende da natureza química, da mobilidade do polímero na matriz e da polaridade e configuração da molécula que penetra o material (KESTER, FENNEMA, 1986 apud DAVANÇO, 2006). A barreira à umidade se dá devido as características das biomoléculas, que apresentam alta polaridade, hidrofobicidade e retenção de água (DENG, ZHAO, 2011). A barreira a gases é de extrema importância para a área alimentícia, evitando oxidação e deterioração dos alimentos (OTONI et al., 2017). Uma grande vantagem dos filmes formados por polissacarídeos e proteínas é a boa barreira ao oxigênio (MALI, GROSSMANN, YAMASHITA, 2010).

3.2. FILMES COM ADIÇÃO DE FRUTAS E VEGETAIS

Os filmes com adição de frutas e vegetais começaram a ser estudados em 1996 por McHugh, Huxsoll e Krochta (MARTINELLI, BARROS, ASSIS, 2014), e atualmente mais de 35 espécies já foram utilizadas neste tipo de filmes. As frutas e vegetais podem ser incorporadas a matriz polimérica na forma de purê, bagaço ou extrato, além de subprodutos destes alimentos, como as cascas, reduzindo custos e possibilitando a agregação de valor ao subproduto.

Uma das principais vantagens desse tipo de filmes, segundo Vargas et al. (2008), é a incorporação de conservantes e ingredientes funcionais em materiais biodegradáveis, que atende as preocupações com o meio ambiente e a crescente demanda de alimentos saudáveis. Além disso, como benefícios dos filmes com adição de frutas e vegetais, eles podem ser utilizados para aumentar a estabilidade de alimentos, atuando na redução de troca de umidade e gases, ajudando a melhorar a eficiência de embalagens, minimizando o consumo de derivados

do petróleo (OTONI et al., 2017). A adição de frutas e vegetais proporciona, muitas vezes, melhorias nas características dos filmes e agrega novas propriedades ao filme, como antioxidantes e antimicrobianos (JANJARASSKUL, KROCHTA, 2010), tornando-os ativos.

A aplicação de filmes com adição de frutas e vegetais com compostos ativos antimicrobianos e/ou antioxidantes têm se mostrado crescente e diversos estudos já foram realizados. Zhu e colaboradores (2014) utilizaram filmes a base de maçã, cenoura e hibisco com aditivos para melhorar o tempo de prateleira de folhas verdes orgânicas. Reis et al. (2015) estudaram a estabilidade de óleo de palma armazenado em filme biodegradável de amido de mandioca com a adição de manga e erva mate como agentes antioxidantes. Peretto et al. (2014) estudaram o aumento da vida de prateleira de morangos frescos armazenados em filme biodegradável, composto por purê de morango, pectina, glicerol, carvacrol e metil cinamato, sendo que estes proporcionaram um aumento na conservação dos frutos.

3.3. JABUTICABA (*Myrciaria cauliflora*)

A jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) é um fruto nativo brasileiro, encontrado em todo território nacional, pertencente à família Myrtaceae, que consiste em uma baga globosa com 1,6 a 2,2 cm de diâmetro, com coloração roxa escura, quando madura, possuindo 1 a 4 sementes, com uma polpa doce, levemente ácida (WILBANK et al., 1983 apud ASCHERI, ASCHERI, CARVALHO, 2006). É um fruto de importância comercial devido a suas características, podendo ser consumida *in natura*, processada em produtos alimentícios ou em cosméticos (ALEZANDRO, GRANATO, GENOVESE, 2013). As casca e sementes da jabuticaba, juntas, equivalem aproximadamente 50% do fruto, segundo Lima et al. (2008), gerando um subproduto que pode ser aproveitado.

As cascas de jabuticaba são ricas em fibras, com propriedades adstringentes, e um alto teor de antocianina, que consiste em um pigmento natural do grupo dos flavonoides, responsável pela coloração da casca (FERREIRA et al., 2012). Além disso, estudos feitos por Leite-Legatti et al. (2012) mostram que a casca possui atividade antiproliferativa contra células tumorais, não causa efeitos mutagênicos e possui uma alta atividade antioxidante, comprovada por diferentes métodos, se mostrando um subproduto com alto potencial de aplicação.

Rufino et al. (2010) determinaram a atividade antioxidante, por diferentes métodos, e o teor de compostos fenólicos em 18 frutas tropicais não tradicionais do Brasil, e destacaram altos teores de fenólicos e atividade antioxidante na jabuticaba. Pesquisas realizadas por Reynertson e colaboradores (2008) com 14 frutas da família Myrtaceae revelaram que a

jabuticaba possuiu a maior atividade antioxidante pela captura do radical livre DPPH, apresentando um valor de IC_{50} de $19,4 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, além do mais, apresentou teores intermediários de compostos fenólicos e antocianina, quando comparada com as outras espécies, revelando que a jabuticaba possui um excelente potencial antioxidante para as mais diversas aplicações.

Em função do teor de compostos fenólicos e da atividade antioxidante, a jabuticaba se apresenta como uma boa fonte para a obtenção de compostos naturais que agem como redutores, interruptores de radicais livres e inativadores de metais pró-oxidantes. Além disso, a utilização da casca em filmes ou revestimentos poliméricos como fonte de compostos com ação antioxidante, representa agregação de valor de um subproduto industrial que contém quantidades significativas de compostos bioativos. Em 2018, Sandre desenvolveu recobrimentos comestíveis a base de soro de leite e extrato de casca de jabuticaba, os quais apresentaram resultados satisfatórios quando empregado como embalagem ativa na conservação de queijo prato.

4 METODOLOGIA

4.1. PREPARO DAS CASCAS DE JABUTICABA

Para as análises os frutos da jabuticaba foram colhidos na safra de setembro a outubro de 2019 em uma propriedade rural situada no município de Dois Vizinhos, no Paraná. Em seguida, foram selecionados, lavados, higienizados com solução de hipoclorito de sódio a 10% e despolpados manualmente. Após, as cascas foram liofilizadas por 95 horas (Liotop, modelo L108), conforme metodologia descrita por Leite-Legatti (2012), moídas em moinho portátil (IKA, modelo A11 Basic) até granulometria de 80 mesh e armazenadas em frascos de vidro com fechamento hermético, em ambiente escuro.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DA CASCA DE JABUTICABA

4.2.1. Composição centesimal

Para a caracterização da casca de jabuticaba foram realizadas análises de composição centesimal pela metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), onde foram avaliados: o teor de umidade (método 012-IV); cinzas (método 018-IV); proteína bruta (método 036-IV); fibra bruta pela metodologia descrita por Ceni et al. (2009); lipídeos analisados através do método de Goldfish, usando éter como solvente; e a quantificação dos carboidratos foi obtida por diferença.

4.2.2. Determinação de compostos bioativos

4.2.2.1. Extratos da casca de jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*)

Em um tubo de ensaio adicionou-se 0,2 g de casca moída e 5 mL de álcool etílico 85% acidificado com ácido clorídrico 1 M, a mistura foi agitada em agitador magnético por 10 minutos e, posteriormente centrifugada, seguindo a metodologia seguida por Silva et al. (2003), com modificações. Este procedimento foi repetido quatro vezes utilizando quantidades iguais de solvente, ao fim da extração o volume foi completado para 25 mL.

4.2.2.2. Compostos fenólicos totais

O teor de compostos fenólicos totais foi quantificado utilizando o método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu seguindo a metodologia descrita por Singleton, Orthofer e Lamuela-Raventós (1999), com modificações, onde o padrão é o ácido gálico, e a curva padrão varia entre 0 e 2000 $\mu\text{g. mL}^{-1}$.

Em tubos de ensaio 0,2 mL da solução de extrato de casca de jabuticaba foi misturada com 1,5 mL do reagente Folin-Ciocalteu na concentração de 100 g.L^{-1} e 1,5 mL de solução de carbonato de sódio na concentração de 60 g.L^{-1} . Após isso, os tubos contendo a mistura permaneceram em repouso por 90 minutos no escuro e a temperatura ambiente, posteriormente, realizou-se a leitura das amostras em espectrofotômetro no comprimento de onda de 725 nm. Os resultados obtidos do teor de compostos fenólicos são expressos em mg de equivalentes de ácido gálico por 100 gramas de amostra.

4.2.2.3. Antocianinas totais

O teor de antocianinas totais foi quantificado pelo método de pH diferencial descrito pela AOAC (2005), utilizando soluções tampão de pH 1,0 de cloreto de potássio (KCl) 0,025 M e solução tampão de pH 4,5 de acetato de sódio 0,4 M. Duas amostras, uma com a solução tampão de pH 1,0 e outra com o tampão de pH 4,5, foram preparadas seguindo a proporção de uma parte de extrato da casca de jabuticaba para quatro partes de solução tampão. As soluções preparadas foram lidas em espectrofotômetro UV-Vis nos comprimentos de onda de 520 e 700 nm, utilizando água destilada como branco. A concentração de antocianina é expressa em equivalentes de cianidina-3-glucosídeo (mg. g^{-1}), e é dada pela equação (1).

$$\text{Antocianina} = \frac{A \times MW \times DF \times 10^3}{\epsilon \times l} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde $A = (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH } 1,0} - (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH } 4,5}$; MW é o peso molecular da cianidina-3-glucosídeo (449,2 g.mol^{-1}); DF é o fator de diluição; 10^3 é o fator de conversão de gramas para miligramas; ϵ é o coeficiente de extinção molar da cianidina-3-glucosídeo (26900 $\text{L.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$); l é o comprimento da cubeta em cm.

4.2.3. Atividade antioxidante pela captura do radical livre DPPH

A atividade antioxidante pela captura do radical livre DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) da casca de jabuticaba foi realizada pela metodologia de Brand-Williams, Cuvelier,

Berset, (1995), com modificações, utilizando como padrão Trolox. Para a determinação da atividade antioxidante, 25 μL de extrato foram misturados com 2 mL de solução de DPPH de 0,06 mmol.L^{-1} em etanol absoluto. Após isso, a solução permaneceu em repouso na ausência de luz por 30 minutos, posteriormente, as amostras foram lidas em espectrofotômetro a 515 nm. O resultado encontrado é expresso em μmol de Trolox por grama de amostra.

4.3. PRODUÇÃO DO FILME

Os filmes foram produzidos segundo a metodologia proposta por Fakhouri et al. (2007), com modificações. Inicialmente, 10 g de gelatina (GEL) foi hidratada com 80 mL de água destilada sob agitação magnética em temperatura ambiente durante 30 minutos, após isso a solução foi aquecida à 85°C e 0,5 g de glicerol (GLI) foi incorporado. Concomitantemente, a solução de biopolímeros foi preparada, onde 3 g de fécula de mandioca (FM) foram dissolvidos em 80 mL água destilada e 0,3 g de glicerol, a solução será submetida a agitação magnética a temperatura de 100°C por 10 minutos.

A casca de jabuticaba foi incorporada na forma de extrato aquoso, no qual, a massa casca de cada tratamento foi misturada com 40 mL de água destilada, sendo agitada em agitador magnético por 30 minutos a temperatura ambiente. Após a extração, a mistura foi centrifugada e filtrada, para a obtenção de um extrato límpido.

Após a geleificação das soluções, a solução de gelatina e a solução de amido foram misturadas, e o extrato de casca de jabuticaba foi incorporado, sendo homogeneizados em agitador mecânico a 2000 rpm por 20 minutos. A tabela 1 exhibe as formulações das soluções filmogênicas que serão preparadas, sendo a formulação 0 o filme controle.

Tabela 1 - Formulações dos filmes elaborados a partir de fécula de mandioca (FM), gelatina (GEL), glicerol (GLI) e casca de jabuticaba (CJ) em 200 mL de água.

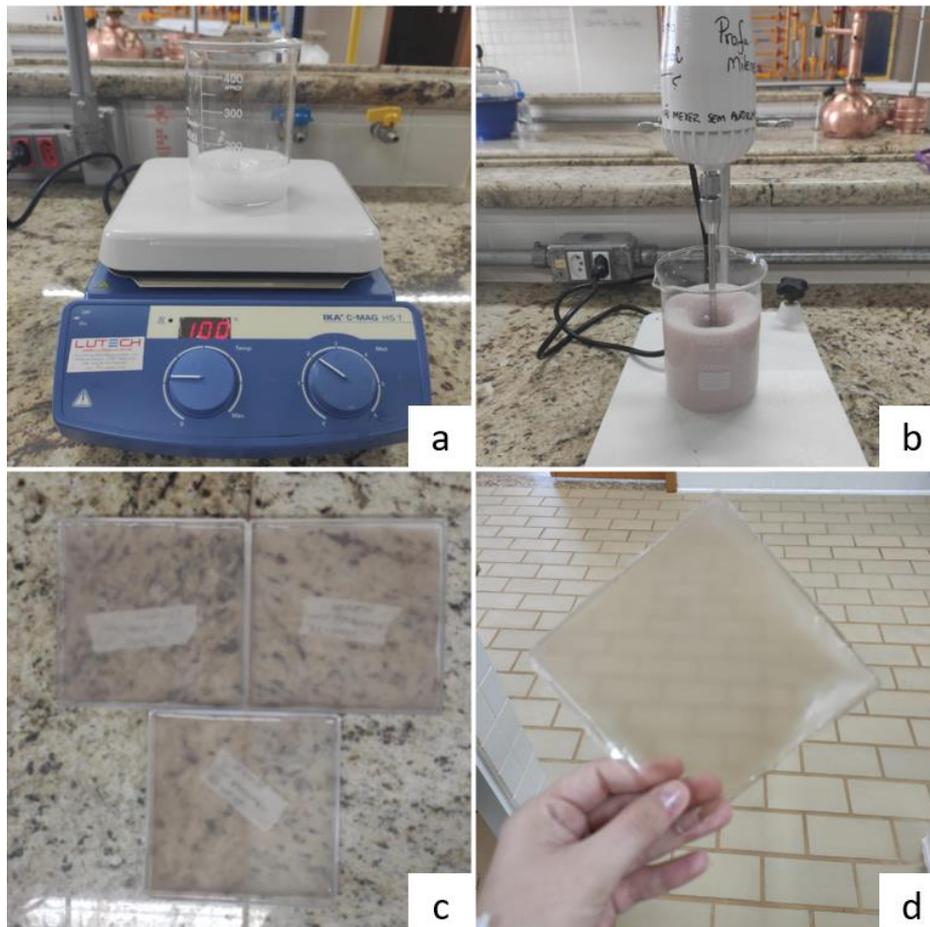
Formulação	FM (g)	GEL (g)	GLI (g)	CJ (g)
F0	3,00	10,00	0,80	0
F1	3,00	10,00	0,80	0,50
F2	3,00	10,00	0,80	1,00
F3	3,00	10,00	0,80	1,50

Fonte: Autoria própria (2021).

Os filmes foram produzidos pela técnica *casting*, onde 40 mL de solução filmogênica foi despejada sobre placa de acrílico de 134,56 cm^2 , e a desidratação ocorreu na temperatura de

secagem de 35°C durante 14 horas em estufa de circulação de ar. A figura 2, exibe o processo de produção dos filmes biodegradáveis.

Figura 2 – Processo de produção dos filmes biodegradáveis. (a) hidratação dos componentes do filme; (b) homogeneização dos componentes em agitador mecânico; (c) solução filmogênica nas placas de acrílico; (d) filme biodegradável após a secagem.



Fonte: Autoria própria (2021).

4.4. CARACTERIZAÇÃO DO FILME

4.4.1. Aspecto visual

Os filmes foram selecionados levando em consideração a homogeneidade do filme, a ausência de fases separadas e partículas insolúveis, com coloração uniforme e sem áreas quebradiças, seguindo a metodologia descrita por Andreuccetti (2010).

4.4.2. Espessura

A espessura do filme foi quantificada com paquímetro digital com precisão de 0,01 mm, sendo a espessura final determinada pela média aritmética da espessura de 10 pontos aleatórios do filme (ALVES et al., 2015).

4.4.3. Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas foram analisadas em parceria com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Francisco Beltrão (FB), no Laboratório de Análises, sendo a tensão de ruptura (TR) e a alongação na ruptura (ER) determinadas por texturômetro TA.XTplus/50 da Stable Micro System, seguindo o método oficial estabelecido pela ASTM D882 (2018), conforme a figura 3.

As análises foram feitas com 8 repetições para cada filme, sendo que foram utilizadas tiras de 60 mm de comprimento por 25 mm de largura. A distância inicial de fixação do filme foi de 50 mm.

Figura 3 – Análise de tensão de ruptura e alongação na ruptura realizada em texturômetro.



Fonte: Autoria própria (2020).

4.4.4. Solubilidade em água

A solubilidade em água (Sol) do filme biodegradável foi determinada pelo método gravimétrico proposto por Gontard et al. (1994), contabilizando em porcentagem, a quantidade de matéria seca que se solubilizou em água após 24 horas. Inicialmente, como controle, o teor de matéria seca do filme (M_i) é quantificado por meio da secagem da amostra de filme por 24 horas a 100°C. Amostras de 2 cm² do filme foram pesadas, e então, submersas em 50 mL de água a 20°C por 24 horas, sendo esta agitada de forma suave periodicamente em shaker. As amostras foram retiradas da água e secas a 100°C por 24 horas, para a determinação da matéria seca não solubilizada (M_f). A análise de solubilidade em água é retratada na figura 4.

Figura 4 – Análise de solubilidade em água.



Fonte: Autoria própria (2021).

A solubilidade em água é obtida pela equação (2).

$$Sol (\%) = \frac{(M_i - M_f)}{M_i} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

4.4.5. Permeabilidade ao vapor de água

A permeabilidade ao vapor de água (PVA) foi determinada por gravimetria seguindo Patzer (2013), com modificações. Para a realização da análise, foram utilizados filmes com área de 0,000314 m² e pesados previamente ao início da análise. Foram adicionados 15 mL de solução saturada de cloreto de sódio em tubos de ensaio, o qual foi vedado com o filme na parte superior, a fim de garantir umidade relativa de 75% no interior do frasco. Posteriormente, os

tubos foram colocados em dessecador contendo sílica, com umidade relativa de 0%, e mantidos a 25°C por 48 horas. Após o acondicionamento os filmes foram pesados novamente.

A taxa de permeabilidade ao vapor de água foi obtida através da equação (3):

$$TPVA = \frac{w}{t \times A} \quad (\text{Equação 3})$$

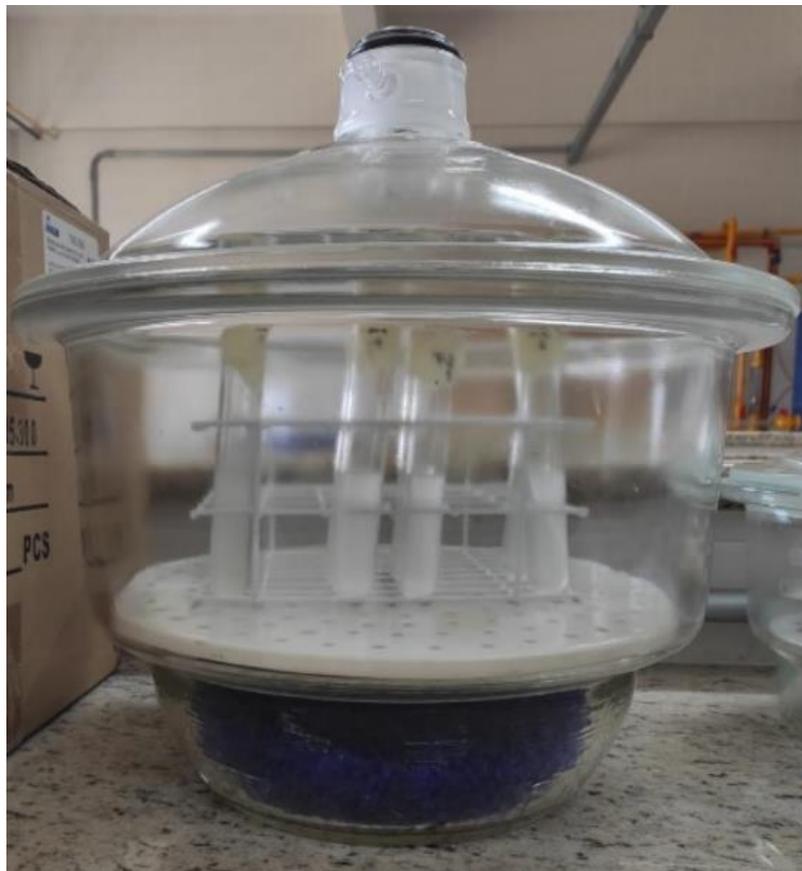
Sendo que TPVA é a taxa de permeabilidade ao vapor de água ($\text{g.dia}^{-1}.\text{m}^{-2}$); w/t o ganho de massa em função do tempo (g.dia^{-1}); e A é a área do filme (m^2).

A permeabilidade ao vapor de água, é dada pela equação (4):

$$PVA = \frac{TPVA \times e}{ps \times (UR1 - UR2)} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde PVA é a permeabilidade ao vapor de água ($\text{g}.\mu\text{m.dia}^{-1}.\text{m}^{-2}.\text{mmHg}^{-1}$); e é a espessura média do corpo de prova (μm); ps é pressão de saturação de vapor de água à temperatura da análise (mmHg); $UR1$ é a umidade relativa no interior do Erlenmeyer (%); e $UR2$ é a umidade relativa dentro do dessecador. A figura 5 exibe o conjunto dessecante.

Figura 5 – Conjunto dessecante utilizado para análise de permeabilidade ao vapor de água.



Fonte: Autoria própria (2021).

4.4.6. Análise colorimétrica

A análise colorimétrica do filme biodegradável foi determinada por colorímetro digital, sendo avaliados os parâmetros de cor L^* , a^* , b^* e C^* conforme Ferreira e Spricigo (2017), onde foram realizadas 4 leituras de cada filme, sendo analisados a frente e o verso de cada amostra.

4.4.7. Microscopia eletrônica de varredura

Para a análise da microestrutura do filme foi realizada a microscopia eletrônica de varredura em parceria com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Pato Branco (PB), no Laboratório Central de Análises em microscópio eletrônico de varredura Hitachi 3000. As amostras foram acondicionadas em dessecador contendo sílica gel por 7 dias prévios às análises.

4.4.8. Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

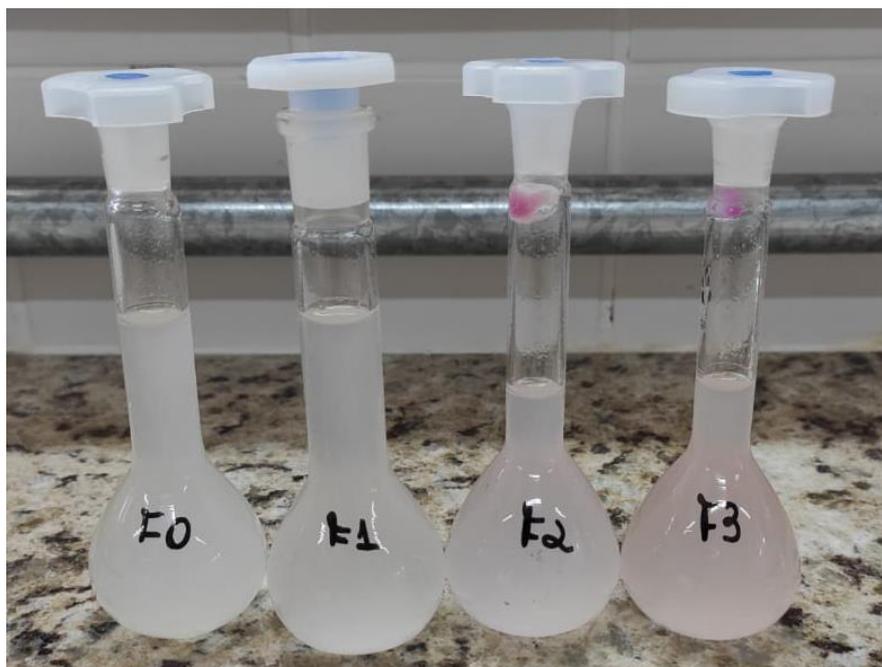
Para a determinação das propriedades térmicas, as análises foram realizadas em parceria com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Pato Branco (PB), no Laboratório Central de Análises, em DSC Q-20 da marca TA Instruments. Para a análise foi utilizada atmosfera de nitrogênio, fluxo de gás de $30 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$, taxa de aquecimento de $10^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ e intervalo de temperatura de -40°C a 200°C , conforme metodologia descrita por Souza, Silva e Druzian (2012).

4.4.9. Propriedades bioativas dos filmes produzidos

Os filmes produzidos foram quantificados quanto ao teor de compostos fenólicos totais, antocianinas totais e atividade antioxidante, conforme as metodologias previamente descritas nas subseções 4.2.2.2 (Compostos fenólicos totais) e 4.2.2.3 (Antocianinas totais), e seção 4.2.3 (Atividade antioxidante pela captura do radical livre DPPH).

Para realização das análises foram produzidos extratos a partir da dissolução, em ultrassom, de 1 cm^2 cada filme em 25 mL de álcool etílico 85% acidificado com ácido clorídrico 1 M, conforme metodologia descrita por Filho (2020), com modificações. A figura 6 mostra os extratos obtidos.

Figura 6 – Extratos alcoólicos dos filmes biodegradáveis.



Fonte: Autoria própria (2021).

4.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Todas as análises serão realizadas em triplicata e os resultados serão submetidos à análise de comparação de médias de variância e teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o Software Excel.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. CARACTERIZAÇÃO DA CASCA DE JABUTICABA

5.1.1. Composição centesimal

Os resultados obtidos a partir das análises de composição centesimal da casca de jabuticaba estão descritos na tabela 2, onde são comparados com os dados disponíveis na literatura.

Tabela 2 – Composição centesimal da casca de jabuticaba liofilizada em comparação com a literatura.

Composição	O autor (2021)	Alves et al. (2014)	Leite-Legatti et al. (2012)	Araújo (2011)	Carvalho (2013)
Umidade	17,80 ± 0,12	9,30 ± 0,39	15,33 ± 0,19	14,45 ± 0,63	14,50 ± 0,18
Cinzas	4,14 ± 0,07	3,09 ± 0,12	3,52 ± 0,02	4,26 ± 0,10	3,29 ± 0,09
Proteína	6,88 ± 0,25	6,39 ± 0,17	4,89 ± 0,10	5,23 ± 0,54	5,64 ± 0,19
Lípido	0,40 ± 0,02	0,60 ± 0,00	1,72 ± 0,19	5,29 ± 0,63	0,56 ± 0,15
Fibra bruta	6,02 ± 0,26	-	-	15,26 ± 1,52	15,04 ± 0,01
Carboidrato*	64,76	-	-	-	75,98 ± 0,06

*Calculado por diferença.

Fonte: Autoria própria (2021).

As diferenças encontradas nas composições centesimais da casca de jabuticaba podem estar associadas a região de plantio, solo, safra e ao estágio de maturação dos frutos. Os valores de proteína e lipídeos encontrados no presente trabalho se assemelham aos resultados obtidos por Alves et al. (2014), ao avaliarem o efeito da temperatura de secagem na composição química da casca de jabuticaba, a casca liofilizada apresentou um teor de proteína de 6,39%, teor de lipídeos de 0,60%. No entanto, a comparação entre o valor do teor de umidade apresenta uma grande diferença, o que pode ser justificado pelas diferentes condições de liofilização.

Ao comparar os resultados obtidos por Leite-Legatti et al. (2012) no estudo das propriedades antioxidantes, antiproliferativas e antimutagênicas da casca de jabuticaba, é possível perceber a semelhança entre o teor de umidade e de cinzas presentes, sendo 15,33% e 3,52%, respectivamente. Porém, ao analisar os lipídeos presentes na casca, o teor encontrado

no artigo é superior, sendo de 1,72%, a diferença entre os resultados pode ser devida diferença de metodologias empregadas para a quantificação do teor de lipídeos.

Os trabalhos realizados por Araújo (2011) e Carvalho (2013), onde ambos os autores utilizaram casca de jabuticaba secas em estufa de circulação de ar a 40°C, obtiveram composições centesimais muito semelhantes, com valores próximos de umidade, cinzas, proteínas e fibra bruta, os quais estão expressos na tabela 2. Porém, quando comparados aos resultados obtidos do presente trabalho de conclusão de curso, é possível visualizar diferença nos resultados em todos os componentes analisados, sendo a principal discrepância na análise de fibra bruta, visto que o teor encontrado no presente trabalho é de 6,02, e nos trabalhos de Araújo (2011) e Carvalho (2013) é de 15,26 e 15,04, respectivamente, o que pode ser justificado pela diferença no preparo da casca e na diferença de metodologias utilizadas.

5.1.2. Compostos bioativos e atividade antioxidante da casca de jabuticaba

A quantificação dos compostos bioativos, os quais correspondem a antocianinas e compostos fenólicos, e a atividade antioxidante pela captura do radical livre DPPH estão apresentados na tabela 3, nela, é possível visualizar que a jabuticaba possui um alto teor de compostos bioativos e uma elevada atividade antioxidante.

Tabela 3 - Compostos bioativos e atividade antioxidante da casca de jabuticaba

Compostos bioativos e atividade antioxidante	
Compostos fenólicos	1133,62 ± 0,12 ^a
Antocianinas totais	6,58 ± 0,24 ^b
Atividade antioxidante pela captura do radical livre DPPH	72,75 ± 38,30 ^c

^a Concentração expressa em equivalentes de ácido gálico (AG) (mg. 100g⁻¹)

^b Concentração expressa em equivalentes de cianidina-3-glucosídeo (mg. g⁻¹)

^c Concentração expressa em equivalentes de Trolox (µM. g⁻¹)

Fonte: Autoria própria (2021).

A concentração de compostos fenólicos encontrada para a casca de jabuticaba liofilizada foi de 1133,62 mg AG. 100g⁻¹ em extrato alcoólico. O valor encontrado no presente estudo se assemelha ao resultado obtido por Dessimoni-Pinto et al. (2011), que corresponde a 1006,44 ± 149,06 mg AG. 100g⁻¹, essa similaridade pode ser justificada pela utilização de frutos em estágio de maturação próximas, visto que os frutos utilizados em ambos trabalhos foram

colhidos na safra de outubro, além disso, as metodologias utilizadas para a quantificação foram as mesmas, diferindo-se apenas no solvente utilizado.

Ao avaliar a concentração de compostos fenólicos para extratos de casca de jabuticaba com diferentes solventes, Araújo (2011) obteve um teor de $443,20 \pm 8,26$ mg AG. $100g^{-1}$ utilizando etanol 80%, resultado que diferencia aos apresentados pelo autor deste presente trabalho, apresentando uma concentração inferior. A diferença encontrada pode ser fundamentada na diferença do solvente aplicado e na utilização de métodos distintos de secagem da casca, sendo eles a secagem em estufa e a liofilização, processos que podem degradar compostos bioativos.

A partir da análise dos compostos bioativos de 18 frutas brasileiras, Rufino et al. (2010) estabeleceram uma classificação para o teor de compostos fenólicos presente nos frutos. De acordo com a classificação, concentrações entre 1000 a 5000 mg AG. $100g^{-1}$ são consideradas médias, com isso, pode-se afirmar que o extrato analisado no presente trabalho possui uma concentração média de compostos fenólicos, o que mostra que a jabuticaba possui uma casca rica em compostos fenólicos.

Em relação a concentração de antocianinas, o resultado alcançado no presente estudo foi de $6,58 \pm 0,24$ mg de cianidina-3-glucosídeo. g^{-1} presente no extrato alcóolico de casca de jabuticaba liofilizada. O valor encontrado é próximo ao teor de antocianinas quantificado por Araújo (2011), que corresponde a $6,823 \pm 0,18$ mg de cianidina-3-glucosídeo. g^{-1} , além disso, o valor obtido por Santos, Veggi e Meireles (2010) em extratos de casca de jabuticaba feitos utilizando incubação e agitação também se assemelha, sendo de $6,17 \pm 0,24$ mg de cianidina-3-glucosídeo. g^{-1} , o que revela que o resultado obtido por este trabalho de conclusão de curso condiz com outros estudos realizados posteriormente.

Ao comparar o teor de antocianinas totais do extrato da casca de jabuticaba liofilizada com o do extrato do fruto inteiro de jabuticaba, feito por Reynertson et al. (2008), que equivale a $2,78 \pm 0,17$ mg de cianidina-3-glucosídeo. g^{-1} , é possível visualizar a maior concentração de pigmentos na casca, que pode ser justificado pela produção de metabólitos secundários na casca que se relacionam a proteção do fruto contra estresses abióticos, em resposta aos fatores ambientais, sendo uma fonte pigmentos naturais, que podem apresentar grande atividade bioativa (ARAÚJO, 2011).

A atividade antioxidante da casca de jabuticaba liofilizada por determinada pela metodologia que quantifica a captura do radical livre DPPH, encontrando um valor de $72,75 \pm 38,30$ μM de Trolox. g^{-1} , resultado condizente com os valores encontrados na literatura por Reis (2016), de aproximadamente 47 a 96 μM de Trolox. g^{-1} para extratos metanólicos e etanólicos,

e por Abe, Lajolo e Genovese (2012), de $62 \pm 6,00 \mu\text{M}$ de Trolox. g^{-1} , que ao analisar a atividade antioxidante de frutas brasileiras, observou uma das maiores capacidades redutoras no fruto da jaboticaba.

Apesar de apresentar uma alta atividade antioxidante é importante ressaltar que o potencial de captura do radical livre de frutos e resíduos de frutos pode depender de muitos fatores inerentes as condições ambientais e climáticas do ambiente de cultivo, a localização geográfica, período de colheita e maturação dos frutos, as condições utilizadas para o preparo das amostras, a metodologia utilizada, o solvente extrator e o teor de compostos fenólicos presentes (MOURE et al., 2001).

5.2. CARACTERIZAÇÃO DO FILME BIODEGRADÁVEL

Todos as formulações produzidas resultaram em filmes homogêneos, sem poros, maleáveis e com ausência de partículas insolúveis e regiões quebradiças, possibilitando a realização das análises de caracterização.

5.2.1. Propriedades mecânicas

A espessura do filme biodegradável é considerada um dos parâmetros de grande importância para a avaliação de propriedade mecânicas dos filmes, visto que possui influência direta nos valores de alongação e resistência a tração, além disso, também pode interferir nas propriedades de permeabilidade e opacidade (MCHUGH, AVENA-BUSTILLOS, KROCHTA, 1993; MALI, GROSSMAN, YAMASHITA, 2010; GALDEANO et al., 2013). A tabela 3 exibe os resultados de espessura, alongação e resistência a tração dos filmes desenvolvidos.

Tabela 3 – Espessura, alongação e resistência a tração dos filmes biodegradáveis.

Formulações	Parâmetros		
	Espessura média (mm)	Elongação (%)	Resistência a tração (MPa)
F0	$0,17 \pm 0,05^a$	$2,29 \pm 0,81^c$	$40,60 \pm 7,49^a$
F1	$0,22 \pm 0,04^a$	$2,86 \pm 0,62^c$	$41,08 \pm 5,90^a$
F2	$0,19 \pm 0,04^a$	$10,90 \pm 6,45^{ab}$	$18,46 \pm 1,46^{bc}$
F3	$0,19 \pm 0,06^a$	$5,75 \pm 3,74^{bc}$	$28,23 \pm 3,96^b$

^{a-c} Médias na mesma coluna com diferentes sobrescritos possuem diferença significativa com $p \leq 0,05$ de acordo com o teste de Tukey.

Fonte: Fonte: Aatoria própria (2021).

De acordo com o teste de Tukey com significância de 5%, as espessuras médias dos filmes desenvolvidos não apresentaram diferenças significativas entre formulações, apresentando maior espessura média de $0,22 \pm 0,04$ mm em F1, como mostra a tabela 3. Os resultados obtidos estão diretamente relacionados a viscosidade e volume de solução filmogênica que é derramada na placa, além disso, o suporte e o nível da estufa de secagem podem provocar diferenças na espessura, devido aos desníveis de secagem (OTONI et al., 2017; MALI, GROSSMAN, YAMASHITA, 2010).

A espessura média dos filmes biodegradáveis produzidos se assemelha a espessura dos filmes a base de amido nativo de mandioca, gelatina, sorbitol e extrato de *Tetradenia riparia* desenvolvidos por Friedrich (2017), que variam entre 0,154 a 0,378 mm. Segundo Alvarenga (2018) a espessura está associada com a quantidade de sólidos presentes na solução filmogênica, isto é, quanto maior a quantidade de constituintes do filme, como amido, proteínas e agentes plastificantes, maior será a espessura.

Quanto ao parâmetro de alongação, é possível observar que o filme controle (F0), sem a adição do extrato aquoso de casca de jabuticaba apresentou uma alongação de $2,29 \pm 0,81\%$, que não diferiu significativamente do filme de formulação 1 (F1) ($2,86 \pm 0,62\%$), além disso, ambas as formulações, F0 e F1, apresentaram resistência a tração similares, com valores de $40,60 \pm 7,49$ e $41,08 \pm 5,90$ MPa, respectivamente, sem diferenças significativas entre si. O que mostra que a menor concentração de concentração de casca (0,5 g) não interferiu nas propriedades mecânicas do filme, ou seja, a estrutura química e a composição não tiveram mudanças consideráveis e a casca de jabuticaba pôde ser incorporada na matriz polimérica com maior facilidade.

Quando se trata das propriedades mecânicas, é importante ressaltar que maiores valores de alongação indicam filmes mais flexíveis, e altos valores de resistência a tração sugerem filmes mais fortes e resistentes (LOREVICE, MOURA, MATTOSO, 2014). Segundo Otoni e colaboradores (2017), os filmes biodegradáveis com maiores concentrações de frutas e vegetais em suas formulações tendem a apresentar uma maior elasticidade e uma menor resistência a tração, isto é observado pois os açúcares de cadeias curtas presentes nas frutas causam um efeito plastificante nos filmes. Além disso, a composição da fruta pode atuar nas propriedades mecânicas, onde, o teor de fibras e proteínas podem proporcionar um acréscimo nas ligações de hidrogênio, que resulta no aumento da resistência e da elasticidade (SOTHORNVIT, PITAK, 2007).

Este comportamento foi observado neste estudo, onde o filme com formulação 2 (F2) apresentou uma alongação de $10,90 \pm 6,45\%$ e resistência a tração de $18,46 \pm 1,46$ MPa, e o

filme de formulação 3 (F3) demonstrou alongação de $5,75 \pm 3,74\%$ e resistência a tração de $28,23 \pm 3,96$ MPa, valores significativamente maiores que os obtidos para F0 e F1. O efeito de adição de frutas e vegetais nas propriedades mecânicas de filmes biodegradáveis também foi notado por Reis e colaboradores (2015), que estudaram os efeitos da adição de polpa de manga e extrato de erva mate em filmes de amido de mandioca, ao avaliar o filme com maior concentração de polpa e foi possível constatar o aumento da alongação ($69,36\%$) e a redução da resistência a tração ($2,04$ MPa). O mesmo desempenho é visto no trabalho desenvolvido por Alvarenga (2018), que verificou diminuição da resistência a tração ($2,09 \pm 0,02$ MPa) e acréscimo da alongação ($104,76 \pm 10,52\%$) em filmes com base de amido de mandioca e extrato de polpa de tamarindo.

Porém, é notável que os parâmetros de alongação e resistência a tração sofrem redução entre F2 e F3, como exibe a tabela 3, o que pode ser justificado maior heterogeneidade da matriz polimérica, resultante da maior concentração de casca no filme. A heterogeneidade do filme pode ocasionar pontos de rupturas no filme, onde as interações glicerol-amido entre as cadeias polimérica se tornam mais frágeis (PIÑEROS-HERNANDEZ et al., 2017), afetando as propriedades mecânicas. Além disso, outro fator que pode ter fomentado a diminuição da alongação e resistência a tração em F3, é que os açúcares presentes na casca de jabuticaba, como frutose e glicose, atuaram como agentes plastificantes, e juntamente com o glicerol provocaram um aumento na concentração total de plastificantes, ocasionando interações excedentes entre a matriz polimérica e o plastificante, que reduzem as propriedades mecânicas (ARVANITOYANNIS, PSOMIADOU, NAKAYAMA, 1996). O mesmo comportamento foi retratado por Reis et al. (2015) e Susmitha et al. (2021) em filmes com adição de frutas.

A partir desta análise, pode-se observar que a concentração de casca de jabuticaba presente em cada filme interferiu diretamente nas propriedades mecânicas de cada formulação, sendo que, o filme F2 obteve melhores resultados para alongação, e F1 para resistência a tração.

5.2.2. Propriedades físico-químicas

As propriedades físico-químicas dos filmes englobam as análises de solubilidade em água, permeabilidade ao vapor de água (PVA) e análise colorimétrica. Os resultados encontrados de solubilidade e PVA estão exibidos na tabela 4.

A solubilidade em água é um parâmetro importante para a caracterização de filmes, pois está diretamente relacionada com as propriedades hidrofílicas ou hidrofóbicas da matriz

polimérica, a partir deste parâmetro torna-se possível visualizar uma aplicabilidade para o filme, sendo que o valor adequado de solubilidade depende aplicação (MIR et al., 2018).

Tabela 4 –Solubilidade em água e permeabilidade ao vapor de água dos filmes biodegradáveis adicionados de casca de jaboticaba.

Formulações	Parâmetros	
	Solubilidade em água (%)	Permeabilidade ao vapor de água (g.µm.dia ⁻¹ .m ⁻² .mmHg ⁻¹)
F0	31,30 ± 2,05 ^a	0,0034 ± 0,00 ^a
F1	23,26 ± 1,42 ^b	0,0039 ± 0,00 ^a
F2	21,05 ± 2,41 ^b	0,0105 ± 0,00 ^b
F3	20,32 ± 0,95 ^b	0,0107 ± 0,00 ^b

^{a-b} Médias na mesma coluna com diferentes sobrescritos possuem diferença significativa com $p \leq 0,05$ de acordo com o teste de Tukey.

Fonte: Fonte: Aatoria própria (2021).

A solubilidade em água do filme controle, F0, foi de $31,30 \pm 2,05\%$, valores próximos aos encontrados por Fakhouri (2009) ao realizar a caracterização de filmes biodegradáveis preparados a partir de gelatina e amido de milho lipofílico. Entretanto, ao avaliar a solubilidade das demais formulações, onde a casca de jaboticaba foi adicionada, é possível notar o decréscimo da porcentagem de matéria solúvel em água presente no filme, apresentando uma diferença significativa do filme controle, de acordo com o teste de Tukey com 5% de significância, como exibe a tabela 4.

A redução da solubilidade em água em filmes com aditivos naturais, como extratos e purês de frutas e vegetais, é bastante relatada na literatura, podendo ser observada nos trabalhos de Farias et al. (2012), Dantas et al. (2015), Mir et al. (2018) e Susmitha et al. (2021). Este comportamento encontrado ocorre, pois, o filme controle é formado por gelatina e amido, dois componentes que possuem natureza higroscópica, fazendo com o filme tenha maior facilidade para se solubilizar em ambiente aquoso (RAMOS et al., 2016; CAETANO et al., 2018). Porém, ao incorporar frutos ou seus subprodutos, como as cascas, a solubilidade reduz devido as fibras presentes, que possuem caráter hidrofílico, e interagem com os grupos hidroxila do amido e da gelatina, e conseqüentemente, tornam a matriz polimérica mais hidrofílica (DANTAS et al., 2015).

Além disso, a solubilidade depende da quantidade de compostos de reticulação presentes na solução filmogênica, fator que interfere na força das interações moleculares que formam a matriz polimérica, tendo como exemplo, o tipo e a proporção do amido utilizado e o tipo de agente plastificante empregado na solução formadora de filme podem influenciar na formação da matriz polimérica, afetando a solubilidade (LUCHESE, SPADA, TESSARO, 2017; ALVARENGA, 2018).

Outra propriedade físico-química muito importante dos filmes é a permeabilidade ao vapor de água (PVA), que mede a capacidade do vapor de água difundir-se de um ambiente de umidade relativa para um ambiente de menor pressão, sendo um parâmetro essencial para a determinação da aplicação dos filmes biodegradáveis, pois, relaciona-se com as propriedades de barreira e com a estabilidade do filme quando em contato com a umidade (NUNES et al., 2021; GOIANA, 2020). Nos ensaios realizados no presente estudo os resultados obtidos mostram que a PVA dos filmes F0 ($0,0034 \pm 0,00 \text{ g} \cdot \mu\text{m} \cdot \text{dia}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mmHg}$) e F1 ($0,0039 \pm 0,00 \text{ g} \cdot \mu\text{m} \cdot \text{dia}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mmHg}$) não tiveram diferença significativa entre si, valores que se aproximam dos encontrados por Rigo (2006), ao estudar a PVA do filme desenvolvido a partir de amido de milho modificado e alginato de sódio.

Ao avaliar os resultados de PVA obtido para as formulações F2 ($0,0105 \pm 0,00 \text{ g} \cdot \mu\text{m} \cdot \text{dia}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mmHg}$) e F3 ($0,0107 \pm 0,00 \text{ g} \cdot \mu\text{m} \cdot \text{dia}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mmHg}$) os valores não diferem significativamente entre si de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$), contudo, pode-se constatar um aumento significativo quando comparados ao filmes F0 e F1, revelando que concentrações mais elevadas de casca de jaboticaba tornam os filmes mais permeáveis. O trabalho desenvolvido por Nunes e colaboradores (2021) estudou os efeitos da adição de extrato de chá verde em filmes a base de gelatina incorporada com óleo essencial de limão, e ao analisar a PVA dos filmes obteve resultados que seguem o mesmo comportamento, concluindo que os filmes com adição do extrato e do óleo essencial tiveram um aumento da permeabilidade quando comparado ao filme controle. Além deste trabalho, o mesmo comportamento foi observado por Nouri e Nafchi (2014), e Farias et al. (2012).

A PVA está diretamente ligada a estrutura do filme, de acordo com Otoni et al. (2017), esta propriedade é influenciada pelo volume e mobilidade das macromoléculas constituintes do filme, e pelas relações cristalino-amorfas e hidrofílico-hidrofóbica da matriz polimérica. Ao adicionar frutas e seus subprodutos, tanto na forma de extrato ou de purês, a estrutura molecular do filme sofre alterações, pois estas moléculas tendem formar aglomerados que fazem com que a matriz polimérica fique mais heterogênea, e com isso, criam canais e poros que permitem a maior passagem de água (MIR et al., 2018). Além disso, a adição de extratos hidrofílicos pode

aumentar a PVA, pois este caráter hidrofílico pode induzir a formação de filmes menos cristalinos e com mais regiões amorfas, com ligações intermoleculares mais fracas, o que favorece a formação de canais de passagem de vapor (MIR et al., 2018).

Além da solubilidade em água e a permeabilidade ao vapor de água, a análise colorimétrica também é uma das propriedades físico-químicas do filme analisadas no presente trabalho. Os critérios analisados seguiram o espaço de definição de cores CIE (Commission International de l'Eclairage) $L^*a^*b^*$ e o parâmetro C^* , pois fornecem uma diferenciação de cores mais aproximada da percepção humana (FERREIRA, SPRICIGO, 2017), além disso, é a escala comumente utilizada no meio acadêmico. O parâmetro L^* diz respeito da luminosidade e varia numa escala de 0 a 100, onde o 100 equivale ao branco e 0 equivale ao preto; a coordenada a^* corresponde a escala do verde (-) ao vermelho (+); o b^* relaciona-se a escala do azul (-) ao amarelo (+) e C^* representa a cromaticidade, que está diretamente interligado a concentração do elemento corante na amostra, sendo um critério quantitativo para a intensidade de cor (FERREIRA, SPRICIGO, 2017). Os resultados obtidos para a análise colorimétrica são apresentados na tabela 5.

Tabela 5 – Análise colorimétrica dos filmes biodegradáveis adicionados de casca de jabuticaba.

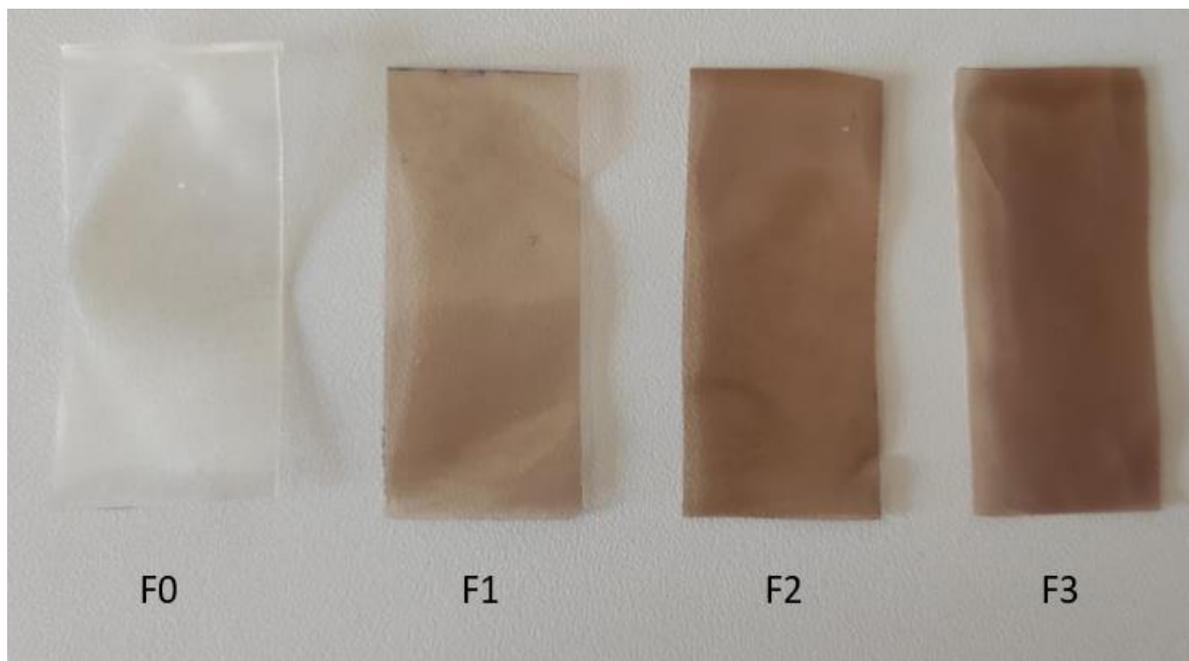
Formulações	Parâmetros			
	L^*	a^*	b^*	C^*
F0	$34,19 \pm 0,74^a$	$2,43 \pm 0,29^b$	$-2,23 \pm 0,34^b$	$3,21 \pm 0,31^b$
F1	$32,08 \pm 2,33^a$	$2,87 \pm 0,09^b$	$-0,40 \pm 0,85^b$	$2,99 \pm 0,07^b$
F2	$37,27 \pm 7,44^a$	$7,60 \pm 3,36^a$	$18,53 \pm 3,01^a$	$8,96 \pm 4,36^a$
F3	$35,36 \pm 2,87^a$	$8,66 \pm 1,96^a$	$22,45 \pm 4,36^a$	$10,90 \pm 1,4^a$

^{a-b} Médias na mesma coluna com diferentes sobrescritos possuem diferença significativa com $p \leq 0,05$ de acordo com o teste de Tukey.

Os valores de L^* encontrados para todas as formulações não se diferenciam significativamente entre si de acordo com a análise estatística, porém, o extrato aquoso de casca de jabuticaba acrescentada a solução filmogênica teve influência direta na coloração dos filmes, e pode ser observada nos parâmetros a^* , b^* e C^* . A análise de a^* revela um aumento da coloração vermelha à medida que a concentração de extrato aumenta, enquanto os dados obtidos de b^* mostram um aumento gradativo da coloração amarela entre as formulações, e os valores encontrados para C^* exibem que a intensidade da cor também sofre aumento da mesma forma

que a^* e b^* . O filme F3 foi o qual obteve os maiores valores para todos os parâmetros estudados, resultado que pode ser reforçado ao observar a figura 7, sendo perceptível a diferença visual entre os filmes.

Figura 7 – Filmes de diferentes formulações utilizados para análise colorimétrica.



Fonte: Fonte: Autoria própria (2021).

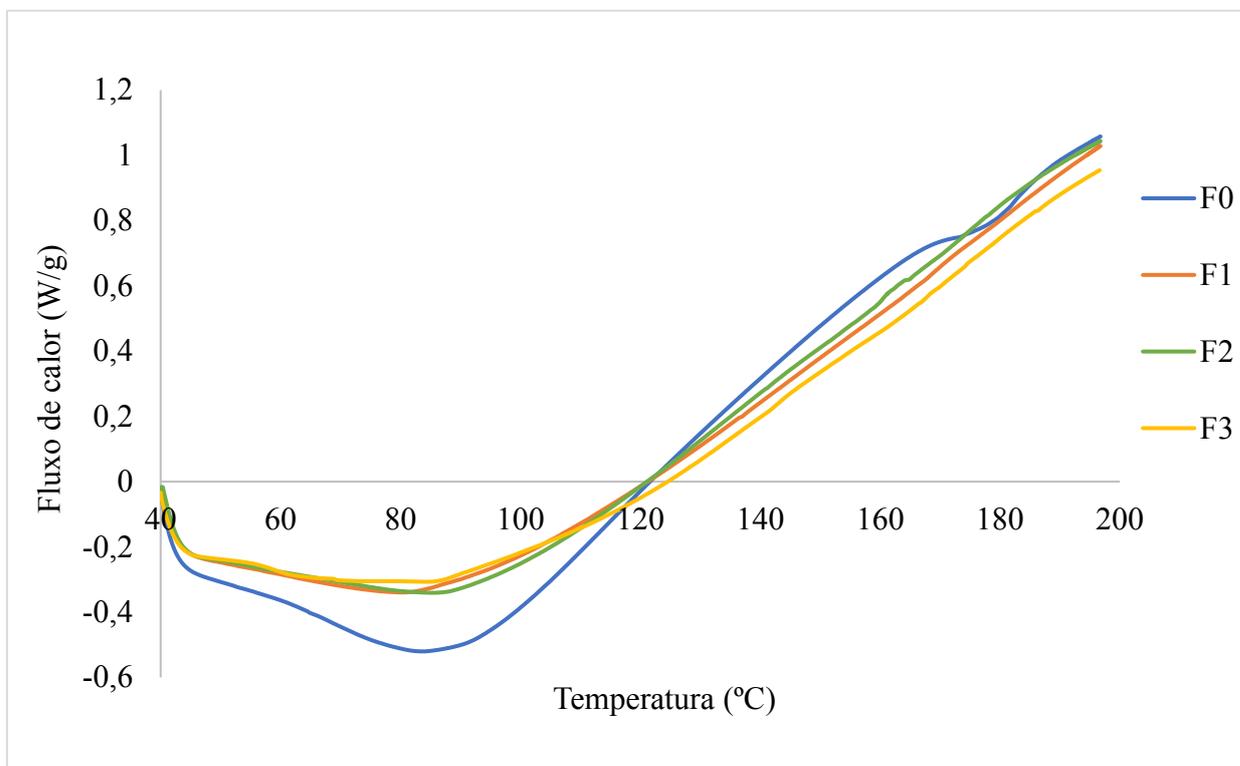
A influência da adição de matéria ou extratos vegetais na coloração de filmes biodegradáveis ocorre, pois, estes extratos, comumente, são ricos em polifenóis que interagem com os biopolímeros que constituem a matriz polimérica, e resultam na alteração da cor, entretanto, a mudança na coloração é dependente do da origem e concentração do extrato (MIR et al., 2018). Esse comportamento é bastante retratado em estudos relacionados a filmes biodegradáveis com a adição de extratos, como no trabalho desenvolvido por Corat (2016), ao avaliar a cor de filmes desenvolvido a base de gelatina e amido com adição de extrato de casca de camu-camu, a coloração do filme tornou-se mais vermelha quando comparada ao controle, resultando no aumento de L^* , a^* e b^* , o que também pode ser observado nos trabalhos de Espitia et al. (2014) e Garcia-Penate et al. (2019).

5.2.3. Propriedades térmicas

As propriedades térmicas dos filmes biodegradáveis desenvolvidos no presente trabalho foram observadas através da análise de calorimetria diferencial exploratória (DSC),

que permite caracterizar a estabilidade térmica de biomoléculas. Os resultados são apresentados na figura 8 na forma de termogramas que relacionam a temperatura e o fluxo de calor.

Figura 8 – Termogramas de DSC para as diferentes formulações de filmes.



Fonte: Autoria própria (2021).

De acordo com os termogramas é possível verificar que todas as formulações exibem picos endotérmicos semelhantes. O filme controle (F0) apresenta um pico na temperatura de aproximadamente 86,55°C, enquanto os filmes com a adição do extrato de casca de jaboticaba, sendo eles F1, F2 e F3, apresentam o pico na faixa de temperatura de aproximadamente 82,15°C, o que mostra que a incorporação do extrato na matriz polimérica alterou sutilmente as propriedades térmicas do filme. Sueiro et al. (2016) e Chang, Cheah e Seow (2000) também retrataram picos endotérmicos em filmes de amido de mandioca.

Os picos endotérmicos estão relacionados com a fusão da parte cristalina do filme, e ocorrem em decorrência da recristalização da amilose e das pequenas frações lineares de amilopectina presente no amido de mandioca durante a secagem dos filmes, pois, a estrutura cristalina do amido é perdida quando passa por aquecimento nas temperaturas entre 70 a 90°C na presença de plastificantes, temperatura a qual foi atingida na hidratação do amido para a

produção dos filmes analisados (SUEIRO et al., 2016; CHANG, CHEAH, SEOW, 2000; MACHADO et al., 2014).

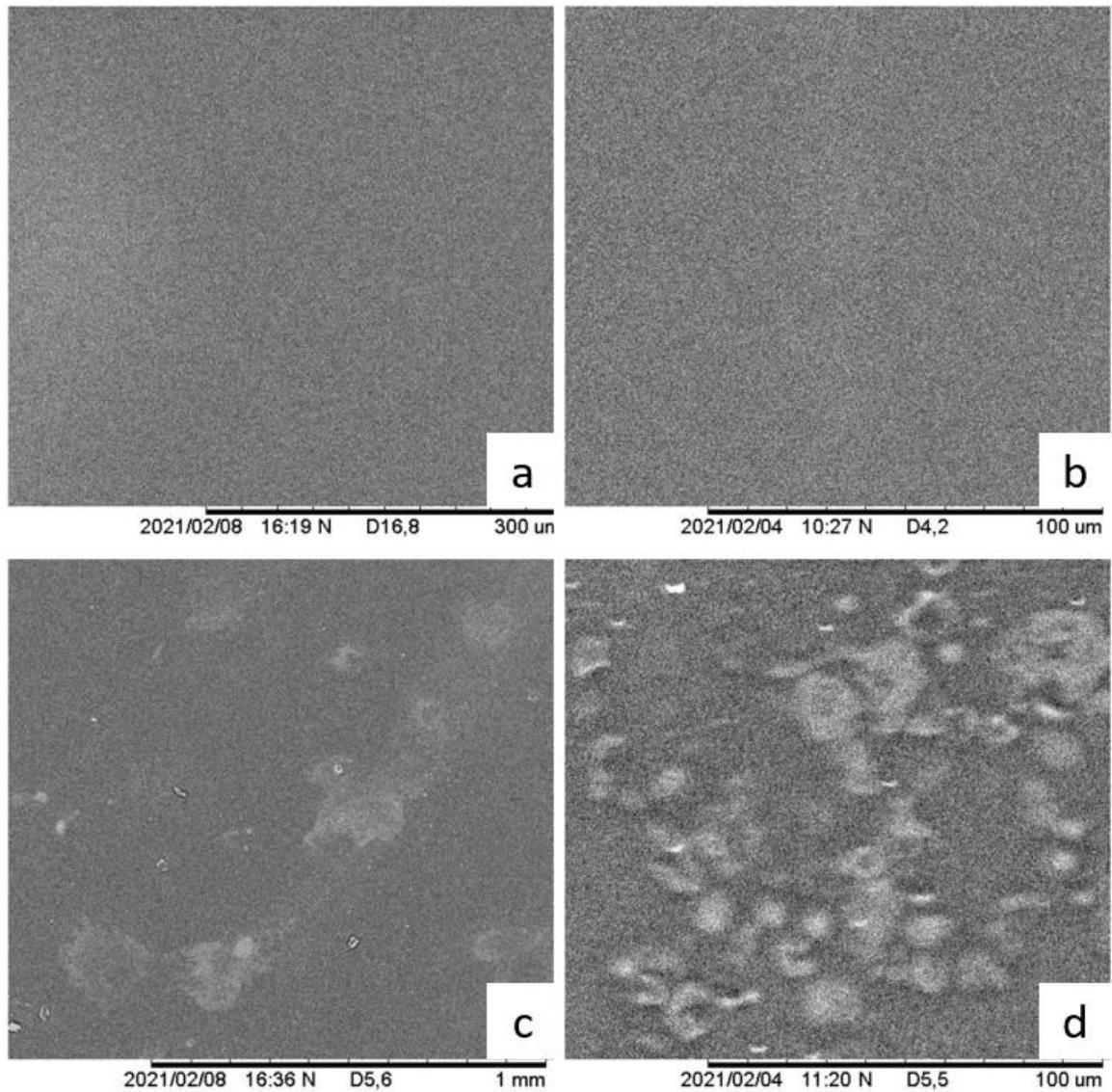
A redução temperatura do evento térmico apresentada nos filmes com adição de extrato de casca de jabuticaba pode ser fundamentada pelo efeito plastificante causado pela presença dos açúcares presentes na casca (OTONI et al., 2017), o mesmo desempenho foi observado por Souza et al. (2012) e Azeredo et al. (2009). Segundo Otoni e colaboradores (2017), temperaturas baixas podem fornecer filmes com baixa estabilidade química e mobilidade de cadeias poliméricas reduzida, porém, fornecem filmes com boa flexibilidade, fator que corrobora com os resultados de propriedades mecânicas encontrados no presente trabalho.

5.2.4. Microestrutura dos filmes

A microestrutura dos filmes foi observada através de microscopia eletrônica de varredura, e estão apresentadas em diferentes aumentos nas figuras 9 e 10. As imagens do filme F0 (figura 9a e 9b) mostram que o filme controle possui uma matriz polimérica homogênea, com a ausência de aglomerados, poros e fissuras, estrutura também observada no filme controle a base de amido e glicerol desenvolvido por Acosta e colaboradores (2015). Na micrografia dos demais filmes é possível visualizar a presença de aglomerados, que exibem a incorporação do extrato de casca de jabuticaba na matriz polimérica. No filme F1 (figura 9c e 89d) nota-se uma pequena quantidade partículas de casca de jabuticaba, as quais pouco interferiram nas propriedades citadas nos tópicos anteriores, mantendo a matriz coesa e sem pontos de rachadura.

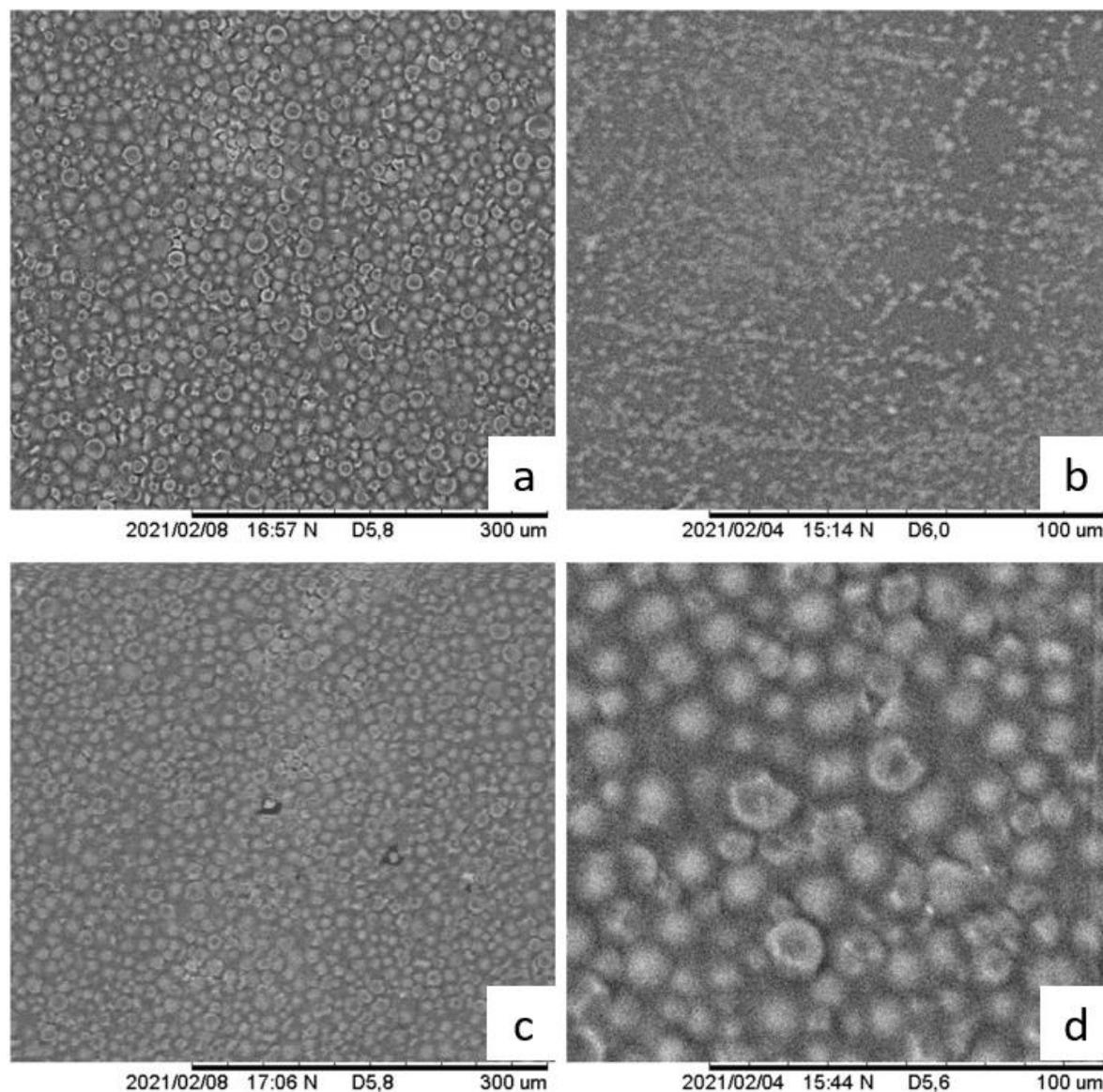
Porém, ao analisar as imagens dos filmes F2 (figura 10a e 10b) e F3 (figura 10c e 10d), é visível um aumento considerável dos aglomerados, apresentando uma matriz heterogênea com aspecto rugoso em sua superfície. Este aspecto pode ter exercido influência direta nas propriedades mecânicas, visto que a heterogeneidade do filme provoca pontos de ruptura que tornam o filme menos resistente a tração (PIÑERO-HERNANDEZ et al., 2017), resultado também observado por Norajit, Kim e Ryu (2010), Espitia et al. (2014), Acosta et al., (2015) e Mir et al. (2018).

Figura 9 – Microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos filmes F0 e F1. (a) MEV do filme F0 com aumento de 300x; (b) MEV do filme F0 com aumento de 1000x; (c) MEV do filme F1 com aumento de 300x; (d) MEV do filme F0 com aumento de 1000x.



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 10 – Microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos filmes F2 e F3. (a) MEV do filme F2 com aumento de 300x; (b) MEV do filme F2 com aumento de 1000x; (c) MEV do filme F3 com aumento de 300x; (d) MEV do filme F3 com aumento de 1000x.



Fonte: Autoria própria (2021).

5.2.5. Propriedades bioativas dos filmes

Diante dos resultados obtidos a partir da realização das análises de compostos fenólicos, antocianinas e da atividade antioxidante pela captura do radical livre DPPH dos filmes desenvolvidos, foi possível constatar que as propriedades bioativas das formulações com

adição de extrato aquoso de casca de jabuticaba foram indetectáveis, o que revela que os filmes F1, F2 e F3 não preservaram os compostos bioativos presentes na casca de jabuticaba liofilizada. Os resultados encontrados podem ser justificados pela baixa concentração de casca de jabuticaba presente nos filmes, tendo em vista que a concentração máxima de casca de no extrato foi de 1,5g, quantidade que pode ter sido insuficiente pra detectar e mensurar as propriedades bioativas do filme.

Conforme resultados encontrados na literatura, filmes biodegradáveis exibiram propriedades bioativas antioxidantes ou antimicrobianas quando grandes quantidades de compostos vegetais, na forma de extrato ou polpas, foram incorporadas a matriz polimérica. Dantas e colaboradores (2015) produziram filmes à base de amido de mandioca e polpas de manga, acerola e seriguela em diferentes concentrações (5, 10, 15 e 20%), e observaram que o aumento da porcentagem de polpa de fruta no filme provocou um acréscimo na atividade antioxidante. O mesmo comportamento foi visto por Reis et al. (2015), Piñeros-Hernandez et al. (2017) e Alvarenga (2018).

Uma alternativa para aumentar as propriedades bioativas nos filmes produzidos no presente trabalho seria o aumento da concentração do extrato de casca de jabuticaba incorporado na matriz polimérica. Porém, esse aumento pode impactar diretamente nas propriedades mecânicas, físico-químicas, térmicas e na microestrutura dos filmes, devido as características dos extratos vegetais, como o elevado teor de açúcares e fibras que atuam como plastificantes, e o aumento da heterogeneidade da matriz, que provocam pontos de ruptura e modificam a microestrutura (MIR et al., 2018; OTONI et al., 2017).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização da casca de jabuticaba liofilizada revelou que composição centesimal é rica em proteínas, fibras e carboidratos, fator que influenciou as propriedades mecânicas e físico-química dos filmes, visto que estes componentes interagem com os biopolímeros que constituem o filme. Além disso, a caracterização da casca mostrou que este subproduto possui uma elevada atividade antioxidante e concentração de compostos fenólicos e antocianinas.

Os filmes de diferentes formulações foram produzidos com êxito, com bom aspecto visual, homogêneos e sem rachaduras. As propriedades mecânicas foram satisfatórias, tendo em vista que os parâmetros foram influenciados pela concentração de casca de jabuticaba adicionada ao filme, pode-se concluir que, os filmes com maiores teores de extrato de CJ demonstram uma grande elasticidade, e filmes com concentrações menores de CJ exibiram resistência a tração superior aos demais. As propriedades físico-químicas dos filmes foram modificadas com a adição do extrato de CJ, as quais, provocaram alteração de cor, diminuição da solubilidade em água e acréscimo da permeabilidade ao vapor de água de acordo com o aumento da concentração de CJ nas formulações.

A adição do extrato de CJ contribuiu para a modificação da temperatura de recristalização dos filmes, causando uma diminuição da temperatura. A morfologia dos filmes também foi afetada pela adição de extrato de CJ a matriz polimérica, tornando-se mais heterogênea conforme o aumento da concentração de CJ, fator que teve influência nas demais propriedades estudadas. A atividade antioxidante do filme e a incorporação dos compostos bioativos presentes na casca de jabuticaba na matriz polimérica não ocorreu conforme o esperado, visto que os compostos bioativos presentes no filme não puderam ser quantificados e detectados devido a baixa concentração de CJ no filme.

Contudo, os resultados apresentados no presente trabalho demonstram que a concentração do extrato de CJ teve influência em todos os parâmetros estudados na caracterização dos filmes, e com isso, pode-se concluir que a concentração utilizada de extrato na formulação dos filmes deve ser estudada e seguir de acordo com a aplicação desejada para o material desenvolvido.

REFERÊNCIAS

- ABE, L. T.; LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I. Potential dietary sources of ellagic acid and other antioxidants among fruits consumed in Brazil: Jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba* (Vell.) Berg). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, n. 8, p. 1679-1687, 2012.
- ACOSTA, S. et al. Physical properties and stability of starch-gelatin based films as affected by the addition of esters of fatty acids. **Food Hydrocolloids**, v. 49, p. 135-143, 2015.
- ALEZANDRO, M. R.; GRANATO, D.; GENOVESE, M. I. Jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba* (Vell.) Berg), a Brazilian grape-like fruit, improves plasma lipid profile in streptozotocin-mediated oxidative stress in diabetic rats. **Food Research International**, v. 54, n. 1, p. 650-659, 2013.
- ALVARENGA, G. F. **Avaliação do potencial antimicrobiano e antioxidante de espécies vegetais para aplicação como aditivo em filmes/revestimentos para alimentos**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2018.
- ALVES, A. P. C. et al. Influence of drying temperature on the chemical constituents of jaboticaba (*Plinia Jaboticaba* (Vell.) Berg) skin. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 36, n. 4, p. 721-726, 2014.
- ALVES, R. C. et al. Caracterização físico-mecânica de biofilmes comestíveis à base de gelatina e de amidos de milho e mandioca. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 3, p. 1686-1691, 2015.
- American Society for Testing and Materials. **ASTM D 882-18**: Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.
- American Society for Testing and Materials. **ASTM D6400-19**: Standard Specification for Labeling of Plastic Designed to be Aerobically Composted in Municipal or Industrial Facilities. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.
- American Society for Testing and Materials. **ASTM E96/96M-16**: Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016.
- ANTONIASSI, R. Métodos de avaliação da estabilidade oxidativa de óleos e gorduras. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 19, n. 2, 2001.
- ASCHERI, D. P. R.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Caracterização da farinha de bagaço de jaboticaba e propriedades funcionais dos extrusados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 4, p. 897-905, 2006.

Association of Official Agricultural Chemists. **AOAC Official Methods 2005.02: Total Monomeric Anthocyanin Pigment Content of Fruit Juices, Beverages, Natural Colorants and Wines**. AOAC International. Rockville, MD, 2005.

ASSIS, O. B. G., BRITTO, D. Revisão: coberturas comestíveis protetoras em frutas: fundamentos e aplicações/Review: edible protective coatings for fruits: fundamentals and applications. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 2, p. 87-97, 2014.

Associação Brasileira de Produtores de Amido de Mandioca – ABAM. **Estatísticas de produção**. 2014. Disponível em: <<http://www.abam.com.br/estatisticas-producao.php>> Acesso em: 19 out. 2019.

ANDRECCEUTTI, C. **Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis a base de gelatina, plastificantes hidrofóbicos e surfactantes naturais**. 2010. Tese (Doutorado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

ANKOM. **Rapid determination of oil/fat utilizing high temperature solvent extraction**. 2009. Disponível em:<<http://www.sanitaryindustry.cn/upload/201609/08/201609081331315085.pdf>> Acesso em: 28 set. 2019.

ARAÚJO, C. R. R. **Composição química, potencial antioxidante e hipolipidêmico da farinha da casca de Myrciaria cauliflora (jabuticaba)**. 2011. Dissertação (Mestrado em Química Orgânica) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2011.

ARVANITTOYANNIS, I.; PSOMIADOU, E.; NAKAYAMA, A. Edible films made from sodium caseinate, starches, sugars or glycerol. Part 1. **Carbohydrate Polymers**, v. 31, n. 4, p. 179-192, 1996.

AZEREDO, H. M. C. et al. Nanocomposite edible films from mango puree reinforced with cellulose nanofibers. **Journal of food science**, v. 74, n. 5, p. N31-N35, 2009.

BATISTA, J. A. **Desenvolvimento, caracterização e aplicações de biofilmes a base de pectina, gelatina e ácidos graxos em bananas e sementes de brócolos**. 2004. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

BRAGA, A. R. C. et al. Bioavailability of anthocyanins: Gaps in knowledge, challenges and future research. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 68, p. 31-40, 2018.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. L. W. T. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT-Food science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.

BRITO, G. F. et al. Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes. **Revista eletrônica de materiais e Processos**, v. 6, n. 2, p. 127-139, 2011.

CAETANO, K. S. et al. Characterization of active biodegradable films based on cassava starch and natural compounds. **Food packaging and shelf life**, v. 16, p. 138-147, 2018.

- CARVALHO, G. C. **Propriedades antioxidantes e sensoriais de barras de cereais convencionais e *light* adicionadas de casca de jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*)**. 2013. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.
- CENI, G. C. et al. Avaliação de componentes nutricionais de cultivares de mandioca (*Manihot esculenta Crantz*). **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 20, n. 1, p. 107-111, 2009.
- CHANG, Y. P.; CHEAH, P. B.; SEOW, C. C. Plasticizing—Antiplasticizing effects of water on physical properties of tapioca starch films in the glassy state. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 3, p. 445-451, 2000.
- CORAT, M. **Avaliação da estabilidade das antocianinas presentes na casca do fruto camu-camu (*Myrciaria dúbia*) em matrizes a base do amido e gelatina**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2016.
- COUTINHO, B. C. et al. A importância e as vantagens do polihidroxibutirato (plástico biodegradável). **Holos**, v. 3, p. 76-81, 2004.
- DAVANÇO, T. **Desenvolvimento e Caracterização de Biofilmes à base de Gelatina, Triacetina, Ácido esteárico ou Ácido caprício e surfactantes**. 2006. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- DANTAS, E. A. et al. Characterization and evaluation of the antioxidant properties of biodegradable films incorporated with tropical fruit pulps. **Ciência Rural**, v. 45, n. 1, p. 142-148, 2015.
- DEBEAUFORT, F., QUEZADA-GALLO, J., VOILLEY, A. Edible films and coatings: tomorrow's packagings: a review. **Critical Reviews in Food Science**, v. 38, n. 4, p. 299-313, 1998.
- DEGÁSPARI, C. H., WASZCZYNSKYJ, N. Propriedades antioxidantes de compostos fenólicos. **Visão acadêmica**, v. 5, n. 1, p. 33-40, 2004.
- DENG, Q.; ZHAO, Y.. Physicochemical, nutritional, and antimicrobial properties of wine grape (cv. Merlot) pomace extract-based films. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 3, p. E309-E317, 2011.
- DESSIMONI-PINTO, N. A. V. et al. Jaboticaba peel for jelly preparation: an alternative technology. **Ciência e tecnologia de alimentos**, v. 31, n. 4, p. 864-869, 2011.
- ESPITIA, P. J. P. et al. Optimal antimicrobial formulation and physical–mechanical properties of edible films based on açaí and pectin for food preservation. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 2, n. 1, p. 38-49, 2014.
- FARIAS, M. G. et al. Caracterização físico-química de filmes comestíveis de amido adicionado de acerola (*Malpighia emarginata* DC). **Química Nova**, v. 35, n. 3, p. 546-552, 2012.

FAKHOURI, F. M. et al. Filmes e coberturas comestíveis compostas à base de amidos nativose gelatina na conservação e aceitação sensorial de uvas Crimson. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 2, p. 369-375, 2007.

FAKHOURI, F. M. **Bioplásticos flexíveis e biodegradáveis à base de amido e gelatina**. 2009. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2009.

FAKHOURI, F. M. et al. Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson grapes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 109, p. 57-64, 2015.

FECHINE, G. J. M. **Polímeros biodegradáveis: tipos, mecanismos, normas e mercado mundial**. São Paulo: Editora Mackenzie, 2013. 118p. ISBN 978-85-8293-260-5.

FERREIRA, A. E. et al. Produção, caracterização e utilização da farinha de casca de jabuticaba em biscoitos tipo cookie. **Brazilian Journal of Food & Nutrition/Alimentos e Nutrição**, v. 23, n. 4, p. 603-607 2012.

FERREIRA, M. D.; SPRICIGO, P. C. Colorimetria-princípios e aplicações na agricultura. **Embrapa Instrumentação-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2017.

FILHO, A. C. P. M. **Farinhas, Pectinas e Filmes Biodegradáveis obtidos de Resíduos de Melancia: Propriedades Físico-químicas, Tecnológica, Bioativas, Degradabilidade e Morfológica**. 2020. Dissertação (Mestrado em agroquímica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, 2020.

FRIEDRICH, J. C. C. **Biofilmes a base de amido, gelatina e extrato de *Tetradenia riparia* na conservação de morango**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2017.

GALDEANO, M. C. et al. Influence of thickness on properties of plasticized oat starch films. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 56, n. 4, p. 637-644, 2013.

GOIANA, M. L. **Efeitos do plasma a frio sobre filmes à base de amido, celulose bacteriana e gelatina**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

GONTARD, N. et al. Edible composite films of wheat gluten and lipids: water vapor permeability and other physical properties. **International Journal of Food Science and Technology**. Oxford, v.29, n.1, p.39-50, 1994.

GUILBERT, S.; GONTARD, N.; GORRIS, L. G. M. Prolongation of the shelf-life of perishable food products using biodegradable films and coatings. **LWT-food science and technology**, v. 29, n. 1-2, p. 10-17, 1996.

HAYASHI, A. et al. Investigation of antioxidant activity of cassava starch biobased materials. In: VI International symposium on future of food engineering, Warsaw, Poland, 2006.

HERNANDEZ-IZQUIERDO, V. M.; KROCHTA, J. M. Thermoplastic processing of proteins

for film formationa review – A Review. **Journal of food science**, v. 73, n. 2, p. R30-R39, 2008.

HUNTERLAB. **The color management company**. Universal software, version 3.2. Reston, 1997.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. 1ª Edição Digital. **Métodos físicos-químicos para análise de Alimentos**, 2008.

JANJARASSKUL, T.; KROCHTA, J. M. Edible packaging materials. **Annual review of food science and technology**, v. 1, p. 415-448, 2010.

KAZA, S. et al. **What a waste 2.0**: a global snapshot of solid waste management to 2050. Washington. World Bank Publications, 2018.

KROCHTA, J. M.; BALDWIN, E. A.; NISPEROS-CARRIEDO, M. O. **Edible coatings and films to improve food quality**. Technomic Publ. Co., 1994.

LEITE-LEGATTI, A. V. et al. Jaboticaba peel : Antioxidant compounds , antiproliferative and antimutagenic activities. **Food Research International**, v. 49, p. 596–603, 2012.

LIMA, A. J. B. et al. Caracterização química do fruto jaboticaba (*Myrciaria cauliflora Berg*) e de suas frações. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v. 58, n. 4, p. 416, 2008.

LOREVICE, M. V.; MOURA, M. R.; MATTOSO, L. H. C. Nanocompósito de polpa de mamão e nanopartículas de quitosana para aplicação em embalagens. **Química Nova**, v. 37, n. 6, p. 931-936, 2014.

LOPES, S. M. **Filmes biodegradáveis contendo licopeno para conservação de óleo de girassol e manteiga**. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de alimentos) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

LUCHESE, C. L.; SPADA, J. C.; TESSARO, I. C. Starch content affects physicochemical properties of corn and cassava starch-based films. **Industrial Crops and Products**, v. 109, p. 619-626, 2017.

MACHADO, B. A. S. et al. Desenvolvimento e avaliação da eficácia de filmes biodegradáveis de amido de mandioca com nanocelulose como reforço e com extrato de erva-mate como aditivo antioxidante. **Ciência Rural**, v. 42, n. 11, p. 2085-2091, 2012.

MACHADO, B. A. S. et al. Obtenção de nanocelulose da fibra de coco verde e incorporação em filmes biodegradáveis de amido plastificados com glicerol. **Química Nova**, v. 37, n. 8, p. 1275-1282, 2014.

MANDARINO, J. M. G. Características bioquímicas e nutricionais do óleo e do farelo de girassol. **Embrapa Soja-Documents (INFOTECA-E)**, 25p., 1992.

MALHERBI, N. M. **Desenvolvimento de filmes biodegradáveis a base de polímeros de fontes renováveis e polpa de guabiroba (*Campomanesia xanthocarpa*)**. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal da

Fronteira Sul, Laranjeiras do Sul, 2015.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 137-155, 2010.

MARTELLI, M. R.; BARROS, T. T.; ASSIS, O. B. G.. Filmes de polpa de banana produzidos por batelada: propriedades mecânicas e coloração. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 24, n. 1, p. 137-142, 2014.

MASUCHI, M. H. et al. Quantificação de TBHQ (terc butil hidroquinona) e avaliação da estabilidade oxidativa em óleos de girassol comerciais. **Química nova**, v. 31, n. 5, p. 1053-1057, 2008.

MCHUGH, T. H.; AVENA-BUSTILLOS, R.; KROCHTA, J. M. Hydrophilic edible films: modified procedure for water vapor permeability and explanation of thickness effects. **Journal of food science**, v. 58, n. 4, p. 899-903, 1993.

MCHUGH, T. H.; HUXSOLL, C. C.; KROCHTA, J. M. Permeability properties of fruit puree edible films. **Journal of food science**, v. 61, n. 1, p. 88-91, 1996.

MIR, S. A. et al. Effect of plant extracts on the techno-functional properties of biodegradable packaging films. **Trends in Food Science & Technology**, v. 80, p. 141-154, 2018.

MOURE, A. et al. Natural antioxidants from residual sources. **Food chemistry**, v. 72, n. 2, p. 145-171, 2001.

MÜLLER, C. M. O.; YAMASHITA, F.; LAURINDO, J. B. Evaluation of the effects of glycerol and sorbitol concentration and water activity on the water barrier properties of cassava starch films through a solubility approach. **Carbohydrate Polymers**, v. 72, n. 1, p. 82-87, 2008.

NAWAR, Wassef W. Chemistry of thermal oxidation of lipids. **Flavor chemistry of fats and oils**, p. 39-60, 1985.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. 7 ed. Artmed Editora, 2019.

NORAJIT, K.; KIM, K. M.; RYU, G. H. Comparative studies on the characterization and antioxidant properties of biodegradable alginate films containing ginseng extract. **Journal of Food Engineering**, v. 98, n. 3, p. 377-384, 2010.

NOURI, L.; NAFCHI, A. M. Antibacterial, mechanical, and barrier properties of sago starch film incorporated with betel leaves extract. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 66, p. 254-259, 2014.

NUNES, J. C. et al. Effect of green tea extract on gelatin-based films incorporated with lemon essential oil. **Journal of Food Science and Technology**, v.58, n. 1, p. 1-8, 2020.

OTONI, C. G. et al. Recent advances on edible films based on fruits and vegetables—a

review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, n. 5, p. 1151-1169, 2017.

SANDRE, M. F. B. **Uso de recobrimento comestível inteligente a base de soro de leite e extrato de casca de jaboticaba em queijo prato**. 2018. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2018.

SANTOS, D. T.; VEGGI, P. C.; MEIRELES, M. A. A. Extraction of antioxidant compounds from Jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) skins: Yield, composition and economical evaluation. **Journal of Food Engineering**, v. 101, n. 1, p. 23-31, 2010.

SILVA, E. M. **Produção e caracterização de filmes biodegradáveis de amido de pinhão**. 2011. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. **Method Enzymology**, v. 299, p. 152-178, 1999.

SOTHORNVIT, R.; PITAK, N. Oxygen permeability and mechanical properties of banana films. **Food Research International**, v. 40, n. 3, p. 365-370, 2007.

SOUZA, C. O.; SILVA, L. T.; DRUZIAN, J. I. Estudo comparativo da caracterização de filmes biodegradáveis de amido de mandioca contendo polpas de manga e de acerola. **Química Nova**, v. 35, n. 2, p. 262-267, 2012.

STOLL, L. **Desenvolvimento e aplicação de filmes biodegradáveis com antioxidantes extraídos a partir de bagaço de uva, um resíduo da indústria vitivinícola**. 2015. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

SUEIRO, A. C. et al. Filmes biodegradáveis de amido de mandioca, pululana e celulose bacteriana. **Química Nova**, v. 39, n. 9, p. 1059-1064, 2016.

SUSMITHA, A. et al. Development and characterization of corn starch-gelatin based edible films incorporated with mango and pineapple for active packaging. **Food Bioscience**, v.41, 2021.

THARANATHAN, R. N. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. **Trends in food science & technology**, v. 14, n. 3, p. 71-78, 2003.

RAMALHO, V. C.; JORGE, N. Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. **Química nova**, v. 29, n. 4, p. 755-760, 2006.

RAMOS, M. et al. Gelatin-based films and coatings for food packaging applications. **Coatings**, v. 6, n. 4, p. 41, 2016.

REIS, A. S. **Bioatividade da *Quassia amara* L. e estabilidade oxidativa sobre o óleo de soja**. 2017. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.

- REIS, L. C. B. et al. Active biocomposites of cassava starch: The effect of yerba mate extract and mango pulp as antioxidant additives on the properties and the stability of a packaged product. **Food and Bioproducts Processing**, v. 94, p. 382-391, 2015.
- REYNERTSON, K. A. et al. Quantitative analysis of antiradical phenolic constituents from fourteen edible Myrtaceae fruits. **Food chemistry**, v. 109, p. 883-890, 2008.
- RIGO, L. N. **Desenvolvimento e caracterização de filmes comestíveis**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2006.
- RUFINO, M. D. S. M. et al. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food chemistry**, v. 121, p. 996-1002, 2010.
- PATZER, V. L. **Produção e caracterização de biofilmes de amido nativo e modificado**. 2013. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- PERETTO, G. et al. Increasing strawberry shelf-life with carvacrol and methyl cinnamate antimicrobial vapors released from edible films. **Postharvest Biology and Technology**, v. 89, p. 11-18, 2014.
- PIÑEROS-HERNANDEZ, D. et al. Edible cassava starch films carrying rosemary antioxidant extracts for potential use as active food packaging. **Food hydrocolloids**, v. 63, p. 488-495, 2017.
- PINHEIRO, A. C. et al. Utilização de revestimentos/filmes edíveis para aplicações alimentares. **Boletim de Biotecnologia**, n. 85, p. 18-28, 2010.
- VARGAS, M. et al. Recent advances in edible coatings for fresh and minimally processed fruits. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 48, n. 6, p. 496-511, 2008.
- VOET, D.; VOET, J. G.; PRATT, C. W. **Fundamentos de Bioquímica: A Vida em Nível Molecular**. 4 ed. Artmed Editora, 2014.
- WANG, X et al. Effects of oregano oil, carvacrol, cinnamaldehyde, and citral on antimicrobial, mechanical and barrier properties of carrot puree films. In: **PIAGENG 2010: Photonics and Imaging for Agricultural Engineering**, 2011a.
- WANG, X. et al. Barrier and mechanical properties of carrot puree films. **Food and Bioproducts Processing**, v. 89, n. 2, p. 149-156, 2011b.
- ZHU, L. et al. Apple, carrot, and hibiscus edible films containing the plant antimicrobials carvacrol and cinnamaldehyde inactivate Salmonella Newport on organic leafy greens in sealed plastic bags. **Journal of food science**, v. 79, n. 1, p. M61-M66, 2014.

