

BEATRIZ DOS SANTOS GALVÃO

**Aplicação de extratos vegetais com potencial antioxidante
no desenvolvimento de filmes biodegradáveis de amido**

ASSIS

2023

BEATRIZ DOS SANTOS GALVÃO

**Aplicação de extratos vegetais com potencial antioxidante
no desenvolvimento de filmes biodegradáveis de amido**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Letras, Assis, para a obtenção do título de Mestra em Biociências (Área de Conhecimento: Caracterização e Aplicação da Diversidade Biológica)

Orientador(a): Cassia Roberta Malacrida Mayer

ASSIS

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Ana Cláudia Inocente Garcia - CRB 8/6887

G182a Galvão, Beatriz dos Santos
Aplicação de extratos vegetais com potencial
antioxidante no desenvolvimento de filmes
biodegradáveis de amido / Beatriz dos Santos Galvão. —
Assis, 2023
56 f. : il.

Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual
Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Letras, Assis
Orientadora: Dra. Cassia Roberta Malacrida Mayer

1. Embalagens ativas e inteligentes. 2. Ação
antioxidante. 3. Mirtácea. 4. Polímeros - Biodegradação.
5. Plásticos nas embalagens. I. Título.

CDD 668.4



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Assis



ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE BEATRIZ DOS SANTOS GALVÃO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCIÊNCIAS, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS E LETRAS - CÂMPUS DE ASSIS.

Aos 09 dias do mês de março do ano de 2023, às 14:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de BEATRIZ DOS SANTOS GALVÃO, intitulada **Aplicação de extratos vegetais com potencial antioxidante no desenvolvimento de filmes biodegradáveis de amido**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Profa. Dra. CASSIA ROBERTA MALACRIDA MAYER (Orientador(a) - Participação Presencial) do(a) Departamento de Biotecnologia / UNESP/FCL-Assis, Profa. Dra. IVANISE GUILHERME BRANCO (Participação Presencial) do(a) Departamento de Ciências Biológicas / UNESP/FCL-Assis, Profa. Dra. DENISE SILVA DE AQUINO (Participação Virtual) do(a) UEM/Umuarama. Após a exposição pela mestrande e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: Aprovada. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Profa. Dra. CASSIA ROBERTA MALACRIDA MAYER

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me colocou e me guiou neste caminho, colocando as pessoas certas na minha vida que me ajudaram a passar por todas dificuldades.

À Nossa Senhora, a qual tenho grande devoção e se mostrou presente nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, que independente das dificuldades, me deram todo suporte necessário para seguir meu objetivos. Sem o apoio de vocês nada seria possível.

Aos meus avós, sempre tão zelosos e carinhosos, obrigada pelas palavras de incentivo e conforto.

Aos demais familiares que estiveram presentes nesta etapa, obrigada pelo apoio.

À minha orientadora, professora Cassia, que sempre esteve disposta a me ouvir e me ajudar, me dando auxílio até o último minuto, sou muito agradecida pela oportunidade de trabalharmos juntas.

Ao IPMet – Centro de Meteorologia de Bauru, por fornecer os dados que ajudaram a enriquecer meu trabalho.

À minha segunda família, que me acolheu, cuidou e rezou por mim, sempre tão prestativos e calorosos, vocês foram essenciais nessa caminhada.

Aos meus queridos amigos, obrigada por me ouvirem nos momentos mais difíceis e estarem presentes durante as dificuldades.

À todos os servidores, alunos e professores que conheci durante este período, obrigada por todo auxílio prestado, pelas conversas e orientações.

RESUMO

O aumento exponencial no consumo de plásticos, principalmente pela indústria alimentícia, o descarte inadequado desses materiais e a cobrança cada vez maior dos consumidores por produtos de fontes naturais que causem menos impactos ambientais faz com que seja necessário a busca de novas tecnologias que substituam polímeros de petróleo sem que haja redução em sua eficiência. Logo, o presente trabalho objetivou caracterizar o extrato aquoso de folhas de uvaia, jambolão e jabuticaba em diferentes fases do ano, a fim de identificar o extrato com maior atividade antioxidante para que este fosse aplicado na formulação de biofilme a base de amido. Os extratos aquosos das folhas de jambolão, uvaia e jabuticaba apresentaram atividade antioxidante e observou-se que as diferentes épocas do ano influenciaram na composição dos extratos, exceto para a atividade antioxidante dos extratos de folha de jabuticaba, que não diferiu significativamente entre as coletas. Os melhores resultados foram observados nas folhas de jambolão coletadas no inverno de 2021 e nas folhas de uvaia coletadas no outono de 2022, sendo o segundo escolhido para ser acrescido a formulação do biofilme. Os biofilmes obtidos eram homogêneos, translúcidos e brilhantes, as formulações contendo extrato de folhas de uvaia apresentaram leve coloração amarelada. As três formulações apresentaram baixo teor de umidade e parcial solubilidade em água, características benéficas para aplicação em alimentos. O acréscimo de extrato em diferentes concentrações no biofilme não diferenciou significativamente na permeabilidade ao vapor de água, sendo possível observar leve aumento na permeabilidade com o aumento na concentração de extrato. Como esperado, as formulações com extrato em sua composição, apresentaram atividade antioxidante e presença de compostos fenólicos, que aumentou proporcionalmente a concentração de extrato. Todas as formulações apresentaram alta taxa de biodegradabilidade. Logo, os biofilmes apresentaram bom desempenho nos parâmetros analisados.

Palavras chave: Embalagens ativas, ação antioxidante, *Myrtaceae*, embalagens plásticos.

ABSTRACT

The exponential increase in the consumption of plastics, mainly by the food industry, the inappropriate disposal of these materials and the increasing demand from consumers for products from natural sources that cause less environmental impact makes it necessary to search for new technologies that replace petroleum polymers without reducing its efficiency. Therefore, the present work aimed to characterize the aqueous extract of uvaia, jambolão and jabuticaba leaves in different phases of the year, in order to identify the extract with the highest antioxidant activity so that it could be applied in the starch-based biofilm formulation. The aqueous extracts of jambolan, uvaia and jabuticaba leaves showed antioxidant activity and it was observed that the different seasons influenced the composition of the extracts, except for the antioxidant activity of jabuticaba leaf extracts, which did not differ significantly between collections. The best results were observed in jambolan leaves collected in the winter of 2021 and in uvaia leaves collected in the fall of 2022, the latter being chosen to be added to the biofilm formulation. The biofilms obtained were homogeneous, translucent and shiny, the formulations containing extract of uvaia leaves showed a slight yellowish color. The three formulations showed low moisture content and partial solubility in water, beneficial characteristics for application in food. The addition of extract at different concentrations in the biofilm did not significantly differ in permeability to water vapor, and it was possible to observe a slight increase in permeability with the increase in extract concentration. As expected, the formulations with extract in their composition showed antioxidant activity and the presence of phenolic compounds, which proportionally increased the extract concentration. All formulations showed a high rate of biodegradability. Therefore, the biofilms showed good performance in the analyzed parameters.

Keywords: Active packaging, antioxidant action, Myrtaceae, plastic packaging.

Lista de Figuras

Figura 1 - Jaboticabeira Campus Unesp - Assis no inverno (A), primavera (B), verão (C) e outono (D).....	16
Figura 2. Uvalheira Campus Unesp-Assis no inverno (A), primavera (B), verão (C) e outono (D).....	18
Figura 3. Pé de jambolão Campus Unesp-Assis no inverno (A), primavera (B), verão (C) e outono (D).....	19
Figura 4. Conjunto montado para análise de biodegradabilidade.....	33
Figura 5. Biofilmes F0, F5 e F10 (A, B e C, respectivamente) sobre aparatos para montagem do conjunto de análise de biodegradabilidade.....	33
Figura 6. Conjunto para análise de permeabilidade de vapor de água (A) e frasco adaptado para análise (B).....	34
Figura 7. (A) F0; (B) F5; (C) F10.....	41
Figura 8. Biodegradabilidade de F0 com 5 (A), 10 (B) e 15 (C) dias.....	45
Figura 9. Biodegradabilidade de F5 com 5 (A), 10 (B) e 15 (C) dias.....	46
Figura 10. Biodegradabilidade de F10 com 5 (A), 10 (B) e 15 (C) dias.....	46

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Periodicidade das coletas de folhas de jabuticaba, uvaia e jambolão no campus da Unesp de Assis (SP).....	26
Tabela 2 - Proporção de água destilada e extrato aquoso de folhas de uvaia em 100 ml de solução filmogênica.....	30
Tabela 3 - Rendimento, matéria seca, sólidos solúveis, pH, compostos fenólicos e capacidade sequestrante de radicais DPPH dos extratos aquoso de folhas de jabuticaba, uvaia e jambolão.....	36
Tabela 4 - Dados climáticos dos períodos de coleta das amostras.....	40
Tabela 5 - Efeito da adição de extrato aquoso de folha de uvaia em biofilme de amido.....	42

Sumário

Introdução	12
2 Revisão Bibliográfica	14
2.1 Família Myrtaceae	14
2.1.1 Jabuticaba (<i>Plinia cauliflora</i>)	15
2.1.2 Uvaia (<i>Eugenia myrcianthes</i> Nied.)	17
2.1.3 Jambolão (<i>Syzygium cumini</i>)	18
2.2 Plástico e biofilme	19
2.3 Embalagem ativa	23
3 Objetivos	25
3.1 Gerais	25
3.2 Específicos	25
4 Materiais e Métodos	26
4.1 Materiais	26
4.1.1 Extratos	26
4.2 Métodos	277
4.2.1 Obtenção dos extratos	27
4.2.2 Caracterização dos extratos	27
4.2.2.1 Rendimento	27
4.2.2.2 Sólidos solúveis	27
4.2.2.3 Matéria seca	28
4.2.2.4 pH	28
4.2.2.5 Compostos fenólicos totais	28
4.2.2.6 Capacidade sequestrante de radicais DPPH	28
4.2.3 Elaboração do biofilme a base de amido	29
4.2.4 Caracterização do biofilme	30
4.2.4.1 Umidade	30
4.2.4.2 Espessura	31
4.2.4.3 Opacidade	31
4.2.4.4 Solubilidade	31
4.2.4.5 Índice de inchaço	32
4.2.4.6 Biodegradabilidade em solo	32
4.2.4.7 Permeabilidade ao vapor de água	33
4.2.4.8 Fenólicos totais	35
4.2.4.9 Capacidade sequestrante de radicais DPPH	35
4.2.5 Análise estatística	35

5 Resultados e Discussão	35
5.1 Caracterização dos extratos	35
5.2 Caracterização dos biofilmes	41
6 Conclusões	47
Referências Bibliográficas	48

Introdução

O Brasil é um país com enorme biodiversidade, conhecido por apresentar a flora mais rica do mundo, com consideráveis níveis de endemismo, sendo espécies endêmicas caracterizadas por serem encontradas em uma região específica na qual representam uma novidade evolutiva que as diferem de suas parentes não endêmicas, e tendo os biomas do Cerrado e Mata Atlântica classificados como grandes hotspots de biodiversidade devido a grande riqueza presente em sua biodiversidade, o que os classifica como prioridade de conservação frente a degradação causada pelo ser humano (BFG, 2021; Pompeu, 2022; Assunção-Silva et al., 2021; Forzza et al., 2012; Giulietti et al., 2005; Marques et al., 2022; Shipley e McGuire, 2022; Silva et al., 2022). Dentre a grande variedade biológica presente nesses biomas, diversas espécies da família Myrtaceae podem ser encontradas nessas regiões, sendo uma característica da família ser predominantemente localizada no hemisfério sul (Grattapagli et al., 2012; Santos et al., 2020; Assunção- Silva et al., 2021).

A família *Myrtaceae* pode ser encontrada em diferentes locais, mas é em sua maior parte localizada em regiões tropicais e sul temperadas, como na América Latina, Austrália e Sudeste da Ásia. Ela é conhecida no mundo todo devido sua importância econômica e tem grande destaque dentre as angiospermas, sendo composta por cerca de 140 gêneros e 6000 espécies (Wilson, 2011; Thornhill et al., 2015; Lucrezia et al., 2021).

No Brasil são encontrados 23 gêneros e cerca de 1034 espécies de *Myrtaceae*, seus frutos são consumidos tanto *in natura* como utilizados na produção de geleias, licores e sucos e também podem ser utilizados pela medicina popular (Stefanello et al., 2011; Santos et al., 2018). Alguns exemplos de espécies pertencentes a família *Myrtaceae* que produzem frutos comestíveis e também podem ser utilizadas de maneira medicinal são a jabuticabeira (*Plinia cauliflora*), a uvaieira (*Eugenia myrcianthes* Nied.) e o jambolão (*Syzygium cumini*).

Alguns gêneros da família *Myrtaceae* apresentam em sua composição

compostos fenólicos e polifenóis, como flavonóides, taninos, estilbenos, cumarinas, tocoferóis, carotenóides (Santos et al., 2020), entre outros, tornando-os, assim, bastante atrativos para diversos ramos industriais, especialmente pela sua atividade antioxidante.

Antioxidantes são substâncias capazes de inibir ou atrasar taxas de oxidação, mesmo se presentes em baixas concentrações. A determinação do potencial antioxidante de um composto dá-se pela reatividade dele como um doador de elétrons ou hidrogênio, capacidade de deslocar ou estabilizar um elétron desemparelhado, reatividade com outro antioxidante e reatividade com oxigênio molecular (Moraes e Colla, 2006; Vasconcelos et al., 2014). Os antioxidantes naturais podem ser obtidos de diversas fontes, como polpa de frutos, cascas, sementes e folhas (Oliveira et al., 2009).

No ramo industrial a busca por inovações que acompanhem as demandas dos consumidores e sejam capazes de reduzir custos, trazer visibilidade e gerar lucros, é constante. Na indústria de alimentos tem-se como exemplo o desenvolvimento de embalagens que sejam capazes de interagir com os alimentos e apresentar papel ativo na preservação destes (Kechichian et al., 2010, El-Wakil et al., 2015).

Na embalagem ativa, produto, embalagem e ambiente interagem de forma positiva, a fim de prolongar a vida útil, aumentar a segurança e características sensoriais do produto. A embalagem ativa pode ser classificada como monocamada, quando o composto ativo é incorporado ao polímero, ou multicamada, quando o composto ativo é aprisionado entre as camadas de polímeros para controlar sua liberação (Carina et al., 2021).

Embalagens ativas de alimentos podem ser desenvolvidas através do enriquecimento de filmes biodegradáveis com aditivos funcionais, como compostos antioxidantes, que podem migrar do material da embalagem para o produto alimentício, de modo a aumentar a vida útil dos alimentos e melhorar suas propriedades de segurança e qualidade. Estes compostos podem ser de fontes naturais, como extratos vegetais e óleos essenciais (Moalla et al., 2021).

O fato de o mercado de embalagens ser dominado por polímeros a base

de petróleo, que geram um grande volume de lixo poluente, faz com que a cobrança dos consumidores por materiais de igual qualidade e menores danos aumente (Rhein e Schimd, 2020; Pincelli et al., 2021). Assim, a busca por polímeros biodegradáveis e de fontes renováveis vem aumentando consideravelmente.

O amido é um polímero natural à base de carboidratos de ampla disponibilidade, baixo custo e que vem recebendo grande destaque. O amido termoplástico é de grande interesse na indústria, porém, apresenta alguns inconvenientes, como problemas estruturais, por exemplo. Buscando-se obter um material mais adequado para aplicação industrial, pesquisas mostraram que a adição de plastificantes em sua composição tornam filmes a base de amido mais semelhantes aos filmes de polímeros sintéticos e melhoram suas características mecânicas (Avela et al., 2005; Babu et al., 2013).

Considerando a rica composição da jabuticabeira (*Plinia cauliflora*), uvaieira (*Eugenia pyriformis*) e do jambolão (*Syzygium cumini*) e o pouco conhecimento que se tem sobre a composição das folhas e suas possíveis aplicações e a tendência ao desenvolvimento de materiais de fontes menos poluentes para embalagens, o objetivo deste estudo foi o desenvolvimento de um filme biodegradável a base de amido enriquecido com extrato das folhas para avaliação do seu desempenho mecânico e de sua atividade antioxidante.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Família Myrtaceae

A família Myrtaceae é composta por diversos gêneros de árvores frutíferas e arbustos apresentando cerca de 140 gêneros e 6000 espécies (Wilson, 2011; Flora do Brasil, 2020), dos quais são encontrados no Brasil por volta de 23 gêneros e 1034 espécies espalhadas por todo território (Santos et al., 2018).

As espécies da família Myrtaceae são encontradas predominantemente no hemisfério sul, podendo ser localizada na América Latina, Austrália e Sudeste da Ásia, tendo maior ocorrência na Austrália e América do Sul. Pode-se encontrar

espécies da família Myrtaceae em diferentes habitats, sendo capazes de se desenvolver também em solos com poucos nutrientes e regiões sazonalmente secas. (Wilson, 2011; Santos et al., 2020).

Acredita-se que no Brasil cerca de 50% das Myrtaceas sejam endêmicas da Mata Atlântica, que é encontrada desde a costa atlântica do Brasil, estendendo-se para o interior do país, expandindo-se também para o Paraguai e Argentina, que por ser uma ampla faixa territorial apresenta diferentes características climáticas. Devido a grande extensão desse complexo bioma, nele são encontrados altos níveis de diversidade, que infelizmente está sendo perdido devido a alta taxa de desmatamento (Wilson, 2011).

A família Myrtaceae apresenta complexa classificação taxinômica por apresentar diversos componentes, difícil diferenciação morfológica e poucos estudos na área (Santos et al., 2020). As espécies podem ser encontradas na forma de árvores ou arbustos, folhas inteiras, poucas ou numerosas, contendo glândulas de óleos, as flores geralmente são brancas, podendo-se encontrar flores rosas, avermelhadas e arroxeadas mais raramente, contendo cerca de cinco pétalas livres, estames numerosos, ovários inferiores, frutos em sua maioria carnosos contendo uma ou mais sementes, endosperma geralmente ausente, embrião reto, curvo ou enrolado e cotilédones planos ou dobrados, finos ou grossos e carnudos (Wilson et al., 2001; Wilson, 2011).

Os frutos produzidos podem ser consumidos *in natura* e também utilizados no preparo de doces, sorvetes, compotas, licores, entre outros produtos. Devido a sua rica composição, tanto frutos como folhas, caules, cascas e outras partes das plantas são utilizadas na medicina popular podendo ser utilizados como agente antidiarréico, antiinflamatório, antioxidante, antireumático e para diminuir o colesterol sanguíneo.

2.1.1 Jabuticaba (*Plinia cauliflora*)

A jabuticabeira (*Plinia cauliflora*), é uma árvore frutífera brasileira tipicamente encontrada na Mata Atlântica. A espécie é nativa das regiões Centro, Sul e Sudeste do Brasil, podendo ser encontrada nos estados de Minas Gerais,

Mato Grosso do Sul e São Paulo até o Rio Grande do Sul. Também são encontrados exemplares no Uruguai, Argentina, Paraguai e Bolívia (Freita et al., 2020; Série Produtor Rural., 2006; Duarte e Paul, 2015).

É uma árvore de origem subtropical com invernos frios, sendo capaz de suportar períodos de geada, mas também se adaptando a regiões tropicais, exceto locais excessivamente quentes e úmidos. A planta com sistema radicular bem ancorado, com alta resistência a ventos fortes que se adapta melhor em solos profundos, ricos em argila, com boa drenagem e caráter ácido. A umidade do solo é um fator determinante para indução da floração, logo em regiões com chuvas bem distribuídas, pode ocorrer o florescimento diversas vezes no ano (Duarte e Paull, 2015).

No Brasil, a jabuticabeira pode atingir até 15 metros de altura, apresentando porte piramidal, muito ramificada, com a copa densa, arredondada e alongada e o tronco liso com cerca de 40 centímetros de diâmetro. As folhas são simples, opostas, lanceoladas ou elípticas com a base arredondada e ápice pontiagudo, podendo ter de 2,5-10 cm de comprimento e até 2 centímetros de largura de cor verde escura ao final do desenvolvimento. As flores são brancas e reunidas em fascículos ao longo do caule e ramos maduros, podendo ser encontradas cerca de 1500 flores por metro de tronco (Série Produtor Rural, 2006; Duarte e Paul, 2015; Salomão et al., 2018).



Figura 1. Jabuticabeira Campus Unesp-Assis no inverno (A), primavera (B), verão (C) e outono (D).
FONTE: O AUTOR, 2021-2022.

Os frutos são do tipo baga globosa com diâmetro de 2 a 3,5 centímetros que se desenvolvem presos ao caule. Quando maduros podem ser encontrados nas cores vermelha, roxo escuro e preto. A polpa é branca e gelatinosa de sabor doce e agradável e pode conter uma ou mais sementes. Os frutos podem ser consumidos *in natura* ou serem utilizados no preparo de sucos, vinhos, geleias, compotas, licores, entre outros produtos (Costa et al., 2013; Wu et al., 2013; Freitas et al., 2020).

A jabuticaba é rica em vitamina C, minerais e compostos fenólicos, logo, seu consumo traz diversos benefícios à saúde humana. As folhas da jabuticabeira apresentam potencial antioxidante e antimicrobiano, tendo assim possível aplicação industrial. Devido a sua composição nutricional e atividade biológica, aumenta cada dia mais o interesse mundial nesta espécie (Citadin et al 2010; Wu et al., 2013; Costa et al., 2013; Freitas et al., 2020).

2.1.2 Uvaia (*Eugenia myrcianthes* Nied.)

Na Mata Atlântica também se encontra como espécie nativa a uvaia, podendo ser localizada desde o estado de São Paulo até o Rio Grande do Sul, também podendo ser localizada na Argentina e Paraguai (Silva et al., 2018; Schmidt, 2018).

A árvore semidecídua de copa arredondada que pode atingir até 15 metros de altura. O tronco geralmente é ereto, cilíndrico podendo ter até 50 centímetros de diâmetro. As folhas são simples, opostas, lanceoladas, glabras, subcoriáceas, com o comprimento de 4 a 7 centímetros. Suas flores são solitárias, axilares, pedunculadas, com quatro pétalas e coloração branca. A uvaieira é uma árvore predominantemente de clima subtropical, podendo se adaptar ao clima tropical, mas é necessário que o solo apresente alta captação de água para o bom desenvolvimento da espécie (Série Produtor Rural, 2006; Silva et al. 2018).

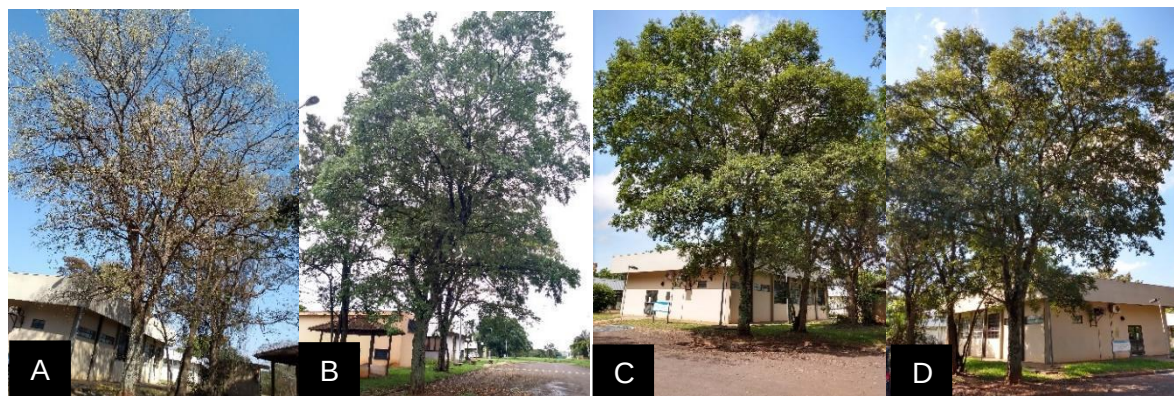


Figura 2. Uvalheira Campus Unesp-Assis no inverno (A), primavera (B), verão (C) e outono (D).
 FONTE: O AUTOR, 2021-2022.

Os frutos são aveludados e possuem cerca de 2,4 centímetros de comprimento, quando maduro o fruto é encontrado em tons de amarelo a alaranjado, sua polpa é carnosa e suculenta, com sabor cítrico e aroma ácido levemente adocicado. A uvaia apresenta sabor exótico e pode ser consumido in natura ou no formato de sucos, geleias, sorvetes e compotas, porém devido a fragilidade de sua casca, os frutos são muito suscetíveis a danos mecânicos, dificultando sua comercialização in natura (Schmidt, 2018; Silva et al., 2018; Klein et al., 2018; Sganzerla et al., 2021).

A uvaieira apresenta grande interesse econômico devido sua rica composição que oferecem diversos benefícios a saúde. Seus frutos apresentam atividade antioxidante e anti-inflamatória devido a presença de compostos fenólicos, carotenóides e terpenos em sua composição, sendo encontrado também diversas vitaminas, como tiamina, riboflavina, ácido pantotênico, piridoxina e biotina, além do alto teor das vitaminas A e C. Suas folhas também apresentam alta propriedade antioxidante devido as concentrações de compostos fenólicos e flavonóides presentes (Rodrigues et al., 2021; Sganzerla et al., 2029; Ueda et al., 2022).

2.1.3 Jambolão (*Syzygium cumini*)

O jambolão é uma árvore originária da Índia e Malásia capaz de se adaptar a regiões tropicais e subtropicais. No Brasil é encontrada nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste. A árvore pode atingir até 15 metros de altura, com tronco reto, copa densamente foliada com formação piramidal podendo atingir até

4 metros de diâmetro, com sua ramificação iniciando-se cerca de 1,5 a 2 metros do chão. Suas folhas são coriáceas, verde escuras, lisas, brilhantes de forma alongada com cerca de 6-12 centímetros de comprimento. As flores apresentam coloração branca e creme, são pequenas e numerosas são arranjadas em inflorescência axilares, racemosas, plurifloras compostas (Soares, 2015; Nerys, 2018).



Figura 3. Pé de jambolão Campus Unesp-Assis no inverno (A), primavera (B), verão (C) e outono (D).
FONTE: O AUTOR, 2021-2022.

Os frutos são pequenos e ovóides com uma única semente, apresentando coloração verde quando imaturos e preto arroxeado quando maduros, sua polpa também apresenta coloração roxa, é carnosa, com sabor doce e adstringentes. Os frutos podem ser encontrados em grupos de 4 a 20 unidades em diferentes partes da copa. Os frutos podem ser consumidos *in natura* ou na forma de doces, geléias e vinhos (Costa et al., 2006; Vizzotto e Pereira, 2008; Severo et al., 2010; Gordon et al., 2011).

O jambolão apresenta diversos benefícios à saúde devido sua rica composição, na qual são encontrados altos teores de antocianina, minerais, taninos, compostos fenólicos e flavonoides. Devido a estes compostos, o jambolão apresenta alta atividade antioxidante e potencial atividade antimicrobiana (Migliato et al., 2010; Severo et al., 2010; Gordon et al., 2011; Barcia et al., 2012; Sehwag e Das, 2014; Sehwag e Das, 2016).

2.2 Plástico e biofilme

Desde a segunda metade do século XX o plástico vem tornando-se cada

dia mais presente na rotina da população. O setor de embalagens é o maior mercado de plásticos, principalmente pelo fato de embalagens descartáveis terem se tornado mais populares e substituído embalagens reutilizáveis (Geyer et al., 2017). Características como baixo custo, resistência mecânica, selagem a quente, possibilidade de ser utilizado de diferentes formas com diferentes graus de rigidez influenciaram positivamente para o crescimento acelerado deste mercado (Otoni et al., 2017).

Os plásticos utilizados no mercado são, em sua grande maioria, polímeros a base de petróleo, sendo esta matéria prima um combustível fóssil não renovável e, na maior parte, não biodegradável (Otoni, et al., 2017). Desde a década de 50 a produção em massa de plástico apresenta tendências de crescimento exponencial passando de 1,5 milhões de toneladas em 1950 para 288 milhões de toneladas em 2012, chegando a atingir a marca de 311 milhões de toneladas em 2014 e estima-se que em 2050 sejam produzidos cerca de 2000 milhões de toneladas de plástico por ano, considerando-se que o consumo e produção de plástico continuem semelhantes aos dos dias atuais (Vellis, 2014; Unep, 2016; Gallo et al., 2018; Sánchez, 2020).

A poluição causada pelo descarte de materiais plásticos já foi considerada somente um problema estético devido a sua grande dispersão poluindo ambientes terrestres e marinhos (Sivan, 2011), porém diversas pesquisas vêm comprovando que este problema se estende de maneira muito mais complexa. A poluição plástica tornou-se uma crise global e a poluição plástica no ambiente marinho já é reconhecida como uma ameaça real em nível mundial devido aos efeitos adversos causados, que podem afetar cadeias alimentares inteiras devido a ingestão de microplásticos que podem carregar consigo contaminantes microbiológicos e químicos (Avio et al., 2017; Gallo et al., 2018; Matjasic et al., 2021; Ali et al., 2021).

A utilização desenfreada e o descarte inadequado geram como consequência o acúmulo cada vez maior de resíduos plásticos. Uma possível solução para este problema, que se mostra cada vez mais grave, seria um alto investimento para o desenvolvimento de um sistema de coleta, gerenciamento, reciclagem e descarte ambientalmente corretos e também o desenvolvimento de

projetos de conscientização sobre consumo e descarte conscientes para população, uma ideia desafiadora que demandaria esforço por décadas e pode acabar mostrando-se não viável ou rentável de acordo com a situação individual de cada nação (Geyer et al., 2017; Gallo et al., 2018; Cai et al., 2022).

O governo tem o papel de desenvolver planos e projetos de gerenciamento de resíduos que sejam adequados e eficazes, porém também é de extrema importância que os consumidores se encontrem instruídos sobre o consumo e descarte consciente de resíduos, como por exemplo, a importância da reciclagem (Cai et al., 2022).

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), no relatório referente a coleta de resíduos sólidos, constatou-se que no ano de 2020, dos 4589 municípios brasileiros que tiveram os dados avaliados, 43,6% dos materiais recicláveis secos são recuperados ou por coleta seletiva, ou por outros meios. No ano de 2020, foi recolhido cerca de 1,07 milhão de toneladas de materiais

recicláveis secos no Brasil, dos quais 789,7 mil toneladas apresentavam a identificação da composição do material, sendo 204,8 mil toneladas compostas por resíduos plásticos.

Os resíduos sólidos secos coletados nos municípios brasileiros são separados de acordo com sua composição e os materiais classificados como aproveitáveis são destinados à recuperação por meio da reciclagem ou reutilização. Os demais materiais, classificados como não aproveitáveis, são enviados para unidades de disposição no solo, podendo ser em aterros sanitários, que apresentam controle técnico e operacional a fim de evitar contaminação das pessoas e do meio ambiente, ou lixões, que não apresentam nenhum tipo de controle e recebem todo tipo de material independente da sua classificação (SNIS-RS, 2021).

Apesar de se observar aumento na coleta e tratamento do lixo reciclável produzido nos municípios brasileiros ao longo dos anos, ainda existem muitos locais sem coleta e tratamento adequado dos materiais recicláveis, além do fato de os tratamentos existentes não abrangerem qualquer tipo de material (SNIS-RS,

2021). Tendo em vista que o acúmulo de resíduos plásticos afeta diretamente o ecossistema e a economia do mundo e mostrar-se um dos mais críticos desafios ambientais, além da atual cobrança dos consumidores por produtos mais sustentáveis, o mercado vem investindo em pesquisas na busca por um material capaz de substituir o plástico sem que haja perda de desempenho (Rhein e Schimd, 2020; Ali et al., 2021; Pincelli et al., 2021).

Opções ideais para substituição dos polímeros convencionais devem ser renováveis e biodegradáveis, como os biopolímeros, que podem ser derivados de plantas, microrganismos e sintetizados a partir de monômeros bioderivados. Polímeros de base biológica vem atraindo cada vez mais atenção por serem elaborados a partir de fontes renováveis, serem menos poluentes e apresentarem potencial para diversas aplicações. Polímeros biodegradáveis, como ácido polilático, poli-hidroxi-hexanoato, glúten, entre outros, apesar de serem produzidos a partir de recursos renováveis, apresentaram propriedades termomecânicas inferiores quando comparados aos polímeros sintéticos, logo é essencial explorar novas matérias primas, plastificantes e estabilizantes com mais estabilidade estrutural para aplicações futuras (Babu et al., 2013; Vinayagamoorthy e Venkatakooteswararao, 2019; Vinod et al., 2020).

Bioplásticos são um grupo de materiais que apresentam diferentes propriedades e aplicações, e, de acordo com a European Bioplastics, pode ser definido como um material de base biológica, biodegradável ou apresentar ambas propriedades, além de ser capaz de oferecer as mesmas propriedades dos plásticos convencionais, com as vantagens adicionais de reduzir a pegada de carbono e maior biodegradação. Os bioplásticos podem ser elaborados a partir de amido, celulose, biomassas, entre outros materiais, o que torna sua produção mais sustentável em relação ao plástico convencional. (BCC, 2021).

Grandes multinacionais e governos de todo mundo demonstram cada vez mais interesse na substituição de plásticos não renováveis a fim de reduzir a dependência de produtos à base de matéria prima não renovável, como o petróleo, e reduzir a emissão de CO₂ no meio ambiente, fatores que vem alavancando a indústria de bioplásticos. Porém a falta de regulamentações, demanda limitada e a necessidade de maiores avaliações de desempenho dos

diferentes biomateriais devido a carência de dados existentes, são fatores que podem desacelerar a implantação em massa de plásticos de base biológica no mercado (BCC, 2021).

Em uma pesquisa na Alemanha sobre a adesão voluntária de produtos sustentáveis, observou-se que os consumidores avaliados estavam dispostos a pagar mais por produtos que apresentassem características sustentáveis desde que os mesmos tivessem conhecimento do processo produtivo e possíveis riscos associados. Embalagens feitas a partir de materiais reciclados ou materiais que causem menos impacto ao meio ambiente são bem aceitas, em contrapartida encontra-se o bioplástico, que gera mais incerteza devido a pouca quantidade de informações sobre o que o leva a ser mais sustentável, acarretando em menor aceitação. É perceptível

o descontentamento dos consumidores com o consumo excessivo e descarte inadequado de embalagens plásticas, porém são necessários mais estudos e investimentos, por parte governamental e industrial, para que haja maiores informações e divulgação das vantagens da adesão de bioplásticos no cotidiano (Herrmann et al., 2022).

2.3 Embalagem ativa

As embalagens tornaram-se indispensáveis na rotina da população, podendo ser utilizadas para acondicionar alimentos, medicamentos, bebidas, cosméticos, entre outros produtos. Na indústria alimentícia as embalagens são de suma importância por desempenharem diversas funções, como a de conservação por criar uma barreira entre o alimento e o ambiente externo o protegendo de contaminações físicas e microbiológicas (Jorge, 2013; Braga e Silva, 2017).

A demanda por produtos alimentícios minimamente processados que apresentem redução ou até mesmo ausência de aditivos químicos e que mantenham sabor, aparência e qualidade vem constantemente aumentando, logo faz-se necessário que novas tecnologias de conservação sejam desenvolvidas pela indústria alimentícia (Rastogi et al., 2010; Bolumar et al., 2016).

Umas das tecnologias que vem sendo estudada para suprir estas

demandas são as embalagens ativas. Estas embalagens consistem num sistema no qual produto, embalagem e ambiente se correlacionam de maneira positiva a fim de prolongar a vida de prateleira do produto e melhorar a segurança sem que se percam as características sensoriais e a qualidade (Wyrwa e Barska, 2017; Carina et al., 2021).

Embalagens ativas são incorporadas deliberadamente com componentes que permitem a troca de substâncias do produto para ambiente, do ambiente para o produto ou da embalagem para o produto e pode ser classificada como monocamada, quando o composto ativo é incorporado ao polímero, ou multicamada, quando o composto ativo é mantido entre as camadas do polímero para que sua liberação seja controlada (Robertson, 2013; Carina et al., 2021).

Diversas estratégias podem ser aplicadas em embalagens ativas a fim de aumentar a vida de prateleira dos produtos, como por exemplo remoção de oxigênio, etileno ou outros gases que podem acelerar o deterioramento dos alimentos; controle de umidade; alteração da permeabilidade dos materiais a determinados tipos de gases de acordo com a temperatura de exposição; incorporação de componentes específicos que atuem na inibição e prevenção de crescimento microbiano, dentre outros. Também pode ser realizada uma combinação de mais de uma tecnologia para se atingir os resultados desejados (Robertson, 2013; Wyrwa e Barska, 2017; Carina et al., 2021).

De acordo com a FDA, componentes utilizados na produção de embalagens podem ser classificados como aditivos alimentares quando, de maneira direta ou indireta, possam passar a compor o alimento ou afetar características do mesmo.

Os antioxidantes são um tipo de aditivo que podem ser adicionados no desenvolvimento de embalagens ativas e são classificados como substâncias utilizadas na conservação de alimentos que desempenham o papel de retardar a deterioração, rancificação e/ou descoloração dos alimentos devido a oxidação (FDA). Geralmente são aplicados antioxidantes sintéticos na composição destes materiais, porém, devido ao aparecimento de estudos que apontam a promoção de efeitos tóxicos e carcinogênicos no organismo devido ao uso destes

antioxidantes, sua utilização vem sendo bastante questionada (Santana et al., 2013).

Devido aos potenciais riscos à saúde relacionados ao consumo de aditivos e antioxidantes sintéticos, e a preocupação com a segurança alimentar e bem estar da população, a busca por produtos naturais que apresentem potencial para substituição de aditivos sintéticos vem crescendo (Santana et al., 2013; Moalla et al., 2021).

Diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas a fim de encontrar novas matérias primas que apresentem bons resultados na substituição de antioxidantes sintéticos, e muitas dessas pesquisas também são voltadas para testes de novos polímeros que sejam capazes de substituir de maneira eficaz polímeros a base de petróleo. Alguns exemplos encontrados na literatura são a adição de *Artemisia campestris* em filmes a base de quitosana (Moalla et al., 2021); adição de extrato de casca de jambolão em filme a base de metilcelulose (Filipini et al., 2020); incorporação de pó de amora em filmes a base de araruta (Nogueira et al., 2019); desenvolvimento de embalagem ativa enriquecida com antioxidante extraído do subproduto de tomate e limão (Mariño-Cortegoso, et al., 2022); preparo de filme de gelatina enriquecido com antioxidante de extrato de xarope de tâmara (Rangaraj et al., 2021) e muitos outros trabalhos que exploram as mais diversas fontes de materiais disponíveis.

3 Objetivos

3.1 Gerais

O presente trabalho tem como objetivo a caracterização de extratos obtidos a partir de folhas de diferentes espécies da família *Myrtaceae* e a adição na formulação de filmes a base de amido visando o desenvolvimento de filmes bioativos.

3.2 Específicos

- Determinar o potencial antioxidante e caracterizar, principalmente com relação aos compostos bioativos, extratos obtidos de folhas de jambolão,

jabuticaba e uvaia, colhidas em diferentes épocas do ano;

- Aplicar diferentes concentrações do extrato com maior atividade antioxidante na formulação de filme biodegradável;

- Avaliar as características físicas e funcionais de filmes biodegradáveis com a adição de extrato antioxidante.

4. Materiais e Métodos

4.1 Materiais

4.1.1 Extratos

Para elaboração dos extratos, foram utilizadas folhas de três árvores frutíferas pertencentes à família *Myrtaceae*, sendo elas jambolão (22°38'53.8"S 50°26'10.9"O) (*Syzygium cumini*), jabuticaba (*Plinia cauliflora*) (22°38'54.5"S 50°26'13.3"O) e uvaia (22°38'58.5"S 50°26'18.8"O) (*Eugenia myrcianthes* Nied).

As folhas foram colhidas no campus da Universidade Estadual Paulista, Assis-SP, sendo realizada uma coleta por estação, conforme apresentado na Tabela 1. Após a colheita, as folhas foram higienizadas, secas em estufa com circulação de ar a 40°C por 48 horas, trituradas em moinho de facas e o pó obtido foi armazenado em sacos plásticos sob refrigeração.

Tabela 1. Periodicidade das coletas de folhas de jabuticaba, uvaia e jambolão no campus da Unesp de Assis (SP).

Coleta	Mês
Coleta 1 – Inverno	Agosto – 2021
Coleta 2 – Primavera	Outubro – 2021
Coleta 3 – Verão	Janeiro – 2022
Coleta 4 - Outono	Abril - 2022

4.2 Métodos

4.2.1 Obtenção dos extratos

Os extratos foram preparados em *shaker* com aquecimento e agitação. Inicialmente pesou-se a folha em pó previamente preparada na proporção massa/solvente de 1:10 com precisão de $\pm 0,01$ g e, como solvente, utilizou-se água destilada. As amostras foram acondicionadas no *shaker* a 55°C e 100 rpm por 30 minutos. Ao final da agitação, filtrou-se as amostras em bomba a vácuo com filtro qualitativo a fim de separar o líquido do sobrenadante. Os extratos obtidos foram armazenados em frascos com tampa e mantidos sob refrigeração. As análises dos extratos foram realizadas em até 24 horas após o preparo. Todos os extratos foram preparados em triplicata.

4.2.2 Caracterização dos extratos

4.2.2.1 Rendimento

Para determinação do rendimento dos extratos mediu-se, em proveta, o volume inicial de água destilada e o volume obtido após a filtração das amostras. Para o cálculo utilizou-se a Equação 01:

$$Rendimento = \frac{v_f}{v_i} * 100 \quad (\text{Eq. 01})$$

Sendo:

v_f o volume final do extrato, em mL;

v_i o volume de água destilada utilizado, em mL.

4.2.2.2 Sólidos solúveis

A concentração de sólidos solúveis (°Brix) presente nos extratos foi obtida em um refratômetro portátil. Quantidade suficiente de extrato aquoso, estabilizado a 20°C, foi acondicionado no prisma do refratômetro, e a concentração de sólidos solúveis foi determinada pela escala presente no equipamento.

4.2.2.3 Matéria seca

O teor de matéria seca foi determinado por método gravimétrico em estufa de acordo com a AOAC (1995). Cerca de 2 gramas de extrato aquoso foram pesados em placas de vidro e acondicionadas em estufa a 105°C por 24 horas, ao final deste período, as amostras secas foram pesadas. A análise foi realizada em triplicata.

4.2.2.4 pH

A determinação do pH dos extratos concentrados foi determinada em pHmetro de bancada.

4.2.2.5 Compostos fenólicos totais

Os compostos fenólicos totais foram quantificados conforme método descrito por Singleton e Rossi (1965) com a utilização do reagente Folin-Ciocalteu.

Inicialmente preparou-se uma curva de calibração utilizando ácido gálico como padrão. Na execução do ensaio os extratos foram diluídos em água destilada na proporção 1:100 (v/v). Após o preparo das diluições, adicionou-se 8 ml de água de destilada em tubos de ensaio, 0,5 ml do extrato diluído e 0,5 ml do reagente Folin- Ciocalteu, os tubos foram homogeneizados em vortex e mantidos em repouso por 3 minutos. Decorrido este tempo, adicionou-se 1,0 ml de carbonato de sódio 20% e realizou-se novamente a homogeneização das amostras. Para a prova em branco utilizou-se água destilada no lugar da amostra. Os tubos foram mantidos em repouso ao abrigo de luz por 1 hora e a absorbância das amostras foi determinada em espectrofotômetro a 765 nm, utilizando a prova em branco para zerar o equipamento. O resultado final foi expresso em gramas equivalentes de ácido gálico por litro de extrato (gEAG/L).

4.2.2.6 Capacidade sequestrante de radicais DPPH

Para determinação da capacidade sequestrante de radicais DPPH dos extratos utilizou-se a metodologia de DPPH adaptada, conforme descrito por Silveira et al. (2018).

Para realização da análise de capacidade sequestrante de radicais DPPH, os extratos foram diluídos em água destilada na proporção 1:100 (v/v) e preparou-se uma curva padrão de Trolox nas concentrações de 50, 100, 200, 400, 600, 800 e 1000 μM , que foram preparadas a partir de uma solução padrão de Trolox 2 mM. Inicialmente uma solução estoque de DPPH (solução 1) de concentração 0,6 mM foi preparada para elaboração da curva padrão e avaliação dos extratos. A solução de uso (solução 2) foi preparada adicionando 10 ml da Solução 1 em um balão de 100 ml e completando o volume com álcool etílico absoluto. Essa solução foi preparada e utilizada somente no momento da execução das análises.

Para realização da análise foi adicionado em um tubo de ensaio 5,850 ml da solução 2 e 150 μL de extrato diluído. Após homogeneização em vortex, a mistura foi armazenada em local protegido de luz e aguardado o tempo de reação para leitura da absorbância em espectrofotômetro. A medida da absorbância foi realizada a 515 nm, zerando o aparelho com álcool etílico absoluto. Os resultados da capacidade sequestrante de radicais DPPH do extrato foram expressos em equivalentes de Trolox por litro de extrato ($\mu\text{mol TEAC/L}$).

O tempo de reação foi determinado a partir da curva cinética de reação de cada extrato. Leituras de absorbância foram realizadas de 2 em 2 minutos e o tempo de reação foi determinado a partir da avaliação do gráfico gerado, no qual adotou-se o ponto em que era observada a diminuição da velocidade de reação. Em todos os extratos foi observado que houve estabilização da reação em tempos semelhantes, logo, a fim de padronização da análise, adotou-se o tempo de 20 minutos.

4.2.3 Elaboração do biofilme a base de amido

Os filmes foram elaborados utilizando a técnica de *casting* a partir da metodologia descrita por Jaramillo et al. (2015) com modificações. Inicialmente pesou-se 5 gramas de amido, 1,5 gramas de glicerol e utilizou-se 100 mL de água destilada como solvente. A solução foi homogeneizada por 40 minutos a temperatura ambiente e para realizar a gelatinização do amido o béquer com a solução foi levado em banho maria a 90°C por 5 minutos. Após total homogeneização e gelatinização da solução filmogênica, esta foi mantida em banho ultrassônico por 10 minutos para remoção de possíveis bolhas.

Para elaboração do biofilme ativo, parte da água destilada da solução foi substituída por extrato aquoso da coleta 4 de folhas de uvaia, preparado conforme descrito no item 4.2.1. A substituição da água destilada foi feita conforme apresentado na tabela 2. Adicionou-se o extrato ao final das etapas descritas no parágrafo anterior a fim de evitar degradação de suas propriedades durante o preparo da solução filmogênica.

Tabela 2. Proporção de água destilada e extrato aquoso de folhas de uvaia em 100 ml de solução filmogênica.

	Água destilada (mL)	Extrato aquoso de folhas de uvaia (mL)
F0*	100	0
F5	95	5
F10	90	10

* F0 é a formulação controle, sem adição de extrato.

A solução filmogênica foi disposta em placas de petri de plástico com diâmetro de 9 cm, na proporção de 0,0204 g de matéria seca por cm² e deixada em estufa a 40°C por 22±2 horas. Depois de seco, o filme foi removido da placa e armazenado em dessecador com umidade relativa de 53% a 25°C por pelo menos 48 horas. Para manter a umidade relativa interna do dessecador constante foi utilizada uma solução de nitrato de magnésio saturada.

4.2.4 Caracterização do biofilme

4.2.4.1 Umidade

Para determinação do teor de umidade dos biofilmes, pesou-se 0,5 gramas de cada filme (m_i) em placas de petri que foram acondicionadas em estufa a 105°C por 24 horas. Ao final deste período os filmes secos foram pesados novamente (m_f). A análise foi realizada em triplicata. O teor de umidade, em base seca, foi determinado pela equação 02.

$$Umidade (\%) = \frac{m_i - m_f}{m_f} * 100 \quad (Eq. 02)$$

4.2.4.2 Espessura

A determinação da espessura dos biofilmes foi realizada por meio de micrômetro digital. Foram tomadas dez medidas em diferentes pontos aleatórios no centro e nas extremidades dos filmes para determinação da espessura média do material.

4.2.4.3 Opacidade

A opacidade dos filmes foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Nigam et al. (2021). As amostras dos filmes, cortadas de maneira que encaixassem dentro da cubeta de quartzo, foram lidas em espectrofotômetro a 600 nm, utilizando a cubeta vazia para zerar o equipamento. A opacidade dos filmes foi determinada em triplicata utilizando a equação 03.

$$\text{Opacidade (\%)} = \frac{Abs_{600nm}}{espessura} \quad (\text{Eq. 03})$$

4.2.4.4 Solubilidade

A determinação da solubilidade dos biofilmes foi desenvolvida de acordo com a metodologia descrita por Gontard et al. (1994). Inicialmente, amostras de 1 cm² foram secas em estufa a 105°C por 24 horas. Após a secagem, as amostras foram pesadas para determinação do teor de matéria seca inicial (m_i). Em béqueres de 100 ml adicionou-se 50 ml de água destilada à temperatura ambiente e os filmes secos, colocando uma amostra de filme por béquer. Em seguida, os béqueres foram acondicionados em *shaker* a 25°C e 100 rpm por 24 horas. Decorrido este período de tempo, a água foi descartada e os filmes restantes foram novamente levados à estufa a 105°C por 24 horas para determinação da matéria seca remanescente (m_f). A solubilidade dos filmes foi determinada em triplicata utilizando a equação 04.

$$\text{Solubilidade (\%)} = \frac{m_i - m_f}{m_i} * 100 \quad (\text{Eq. 04})$$

4.2.4.5 Índice de inchaço

Para determinação do índice de inchaço dos biofilmes, seguiu-se metodologia semelhante à proposta por Filipini et al. (2020). Amostras de 1 cm² das diferentes formulações foram secas em estufa a 105°C por 24 horas. Após a secagem, as amostras foram pesadas (m_i), e em seguida, imersas em 50 ml de água destilada por 2 minutos. Ao final do tempo toda água foi removida, a superfície do filme foi seca para retirar o excesso de água e o filme novamente foi pesado (m_f). O índice de inchaço dos filmes foi determinado em triplicata e calculado a partir da equação 05.

$$\text{Índice de inchaço (\%)} = \frac{m_f - m_i}{m_i} * 100 \quad (\text{Eq. 05})$$

4.2.4.6 Biodegradabilidade em solo

A avaliação da biodegradabilidade dos biofilmes em solo foi determinada utilizando metodologia semelhante à descrita por Medina-Jaramillo et al. (2017) e Filipini et al. (2020). Um recipiente plástico de 47 cm x 32 cm x 7 cm foi preenchido com cerca de 2 cm de altura de solo e três amostras de cada filme foram enterradas a cerca de 1 cm de profundidade (Figura 4). As amostras foram dispostas sobre uma tela de material sintético para que a orientação durante a análise fosse mais precisa (Figura 5). O recipiente preparado foi mantido em área externa e coberta e o solo foi umedecido diariamente duas vezes ao dia com água corrente. A avaliação visual dos filmes foi realizada com 5, 10 e 15 dias. Optou-se por ser feito somente a avaliação visual devido a presença de muitos interferentes que poderiam agregar erros na determinação da perda de massa durante a degradação do material.



Figura 4. Conjunto montado para análise de biodegradabilidade. FONTE: O AUTOR, 2023.

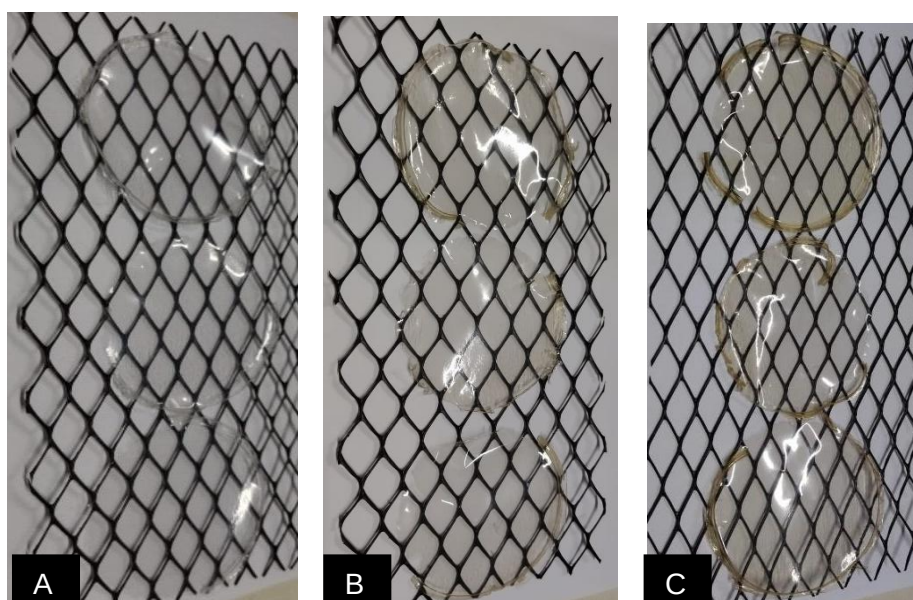


Figura 5. Biofilmes F0, F5 e F10 (A, B e C, respectivamente) sobre aparatos para montagem do conjunto de análise de biodegradabilidade. FONTES: O AUTOR, 2023.

4.2.4.7 Permeabilidade ao vapor de água

A permeabilidade de vapor de água dos biofilmes foi determinada de acordo com o método E96/E96M-16 (ASTM, 2016) que baseia-se na absorção de umidade através da membrana pelo tempo de exposição. Para isso, inicialmente, os biofilmes foram cortados em discos de 16 mm de diâmetro, tamanho equivalente a abertura da tampa do frasco. Em seguida, o biofilme foi fixado sobre a tampa, e a fim de garantir total vedação do sistema, outra tampa, com mesmo tamanho de abertura da tampa inferior, foi fixada na parte superior do filme (Figura 6).

O conjunto de tampas com filme já preparado foi acoplado ao frasco contendo sílica gel. A sílica foi anteriormente ativada em estufa a 105°C por 24h a fim de se obter umidade relativa de 0% na parte interna do frasco. Todos os sistemas foram preparados em triplicata.

Os conjuntos foram acondicionados em BOD a 25°C por 72 horas, sendo realizadas medições de peso a cada 12 horas para se acompanhar o ganho de massa.

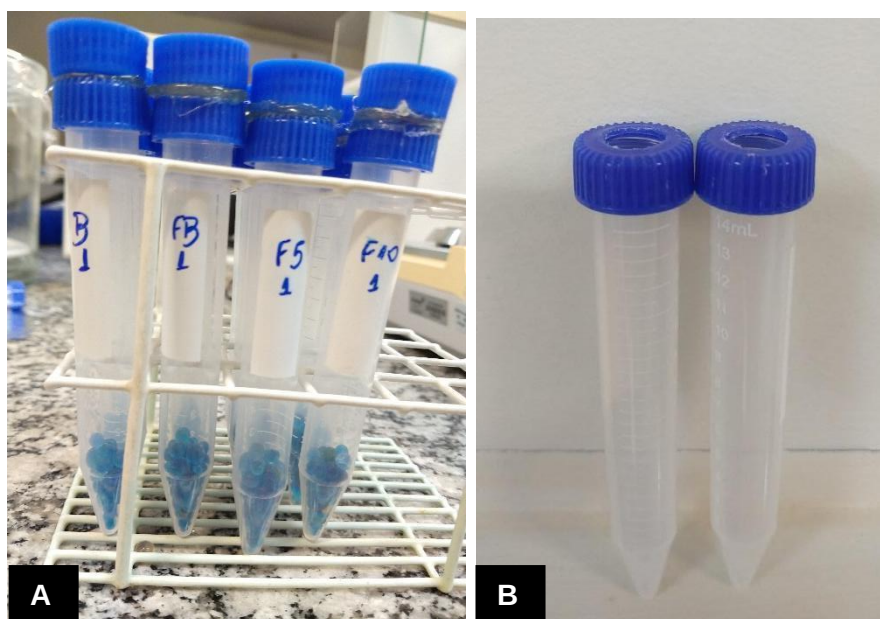


Figura 6. Conjunto para análise de permeabilidade de vapor de água (A) e frasco adaptado para análise (B). FONTES: O AUTOR (2023).

A permeabilidade de vapor de água foi calculada com base na equação 06.

$$PVA = \frac{G \cdot e}{t \cdot A \cdot P \cdot (UR_1 - UR_2)} \quad (\text{Eq. 06})$$

Na qual:

G = ganho de massa (g);

e = espessura do filme (mm);

t = tempo de análise (h);

A = área exposta do filme (m²);

P = pressão de vapor saturado (KPa);

UR_1 = umidade relativa dentro do dessecador;

UR_2 = umidade relativa dentro do frasco preparado.

4.2.4.8 Fenólicos totais

Para determinação da concentração de compostos fenólicos totais presentes nos biofilmes, utilizou-se metodologia semelhante à descrita por Filipini et al. (2020). Em um béquer pesou-se 0,3 gramas do biofilme, adicionou-se 30 ml de água destilada, e o sistema foi acondicionado em shaker a 25°C e 100 rpm por 12 horas. Ao final do tempo, a amostra foi filtrada em papel filtro qualitativo para retenção dos biofilmes não dissolvidos, a amostra líquida obtida foi utilizada na determinação de compostos fenólicos totais e avaliação da capacidade sequestrante de radicais DPPH. Os meios foram preparados em triplicata.

O desenvolvimento da análise para determinação da concentração de compostos fenólicos totais presentes nos biofilmes seguiu-se conforme descrito no item 4.2.2.5 e os resultados foram expressos em mg EAG/g de biofilme.

4.2.4.9 Capacidade sequestrante de radicais DPPH

O preparo da amostra para avaliação da capacidade sequestrante de radicais DPPH dos biofilmes foi realizado conforme descrito no item 4.2.4.7 e o desenvolvimento do ensaio foi realizado conforme descrito no item 4.2.2.6 e os resultados foram expressos em TEAC/g de filme.

4.2.5 Análise estatística

As determinações analíticas foram expressas como a média $\pm$ desvio padrão das triplicatas e foram comparadas pelo teste de Tukey, realizado após análise de variância (ANOVA) com intervalo de confiança de 95%.

5 Resultados e Discussão

5.1 Caracterização dos extratos

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados de rendimento de extração, matéria seca, sólidos solúveis, pH, compostos fenólicos e capacidade sequestrante de radicais DPPH da jabuticaba, uvaia e jambolão que foram coletados entre o período de agosto/21 e abril/22.

Tabela 3. Rendimento, matéria seca, sólidos solúveis, pH, compostos fenólicos e capacidade sequestrante de radicais DPPH dos extratos aquosos de folhas de jabuticaba, uvaia e jambolão

	Coleta**	Rendimento (%)	Matéria seca (% massa seca)	Sólidos solúveis (°Brix)	pH	Compostos fenólicos (g EAG/L)	Atividade antioxidante (μmol TEAC/L)
Jabuticaba	I	75,3±0,58 ^{a*}	1,74±0,063 ^a	2,00±0,00	4,50±0,015 ^c	3,77±0,13 ^c	45950±1424 ^a
	P	69,0±2,65 ^b	1,69±0,026 ^a	2,00±0,00	4,58±0,025 ^b	6,82±0,18 ^a	42394±1084 ^a
	V	78,0±0 ^a	1,19±0,090 ^c	2,00±0,00	4,98±0,027 ^a	4,51±0,05 ^b	46894±3293 ^a
	O	78,0±2,00 ^a	1,54±0,014 ^b	2,00±0,00	4,48±0,020 ^c	3,72±0,23 ^c	47394±3276 ^a
Uvaia	I	81,0±1,73 ^a	1,89±0,053 ^b	2,00±0,00	4,86±0,012 ^b	4,79±0,13 ^b	47006±855 ^{bc}
	P	77,0±3,46 ^a	1,52±0,053 ^d	2,00±0,00	5,14±0,00 ^a	4,61±0,28 ^b	42172±1946 ^c
	V	80,0±0 ^a	1,73±0,069 ^c	2,00±0,00	5,15±0,012 ^a	4,84±0,36 ^b	50117±2646 ^{ab}
	O	82,0±1,73 ^a	2,25±0,031 ^a	2,00±0,00	4,67±0,017 ^c	7,18±0,09 ^a	53839±2616 ^a
Jambolão	I	66,0±1,73 ^c	1,97±0,091 ^a	2,00±0,00	4,47±0,023 ^a	5,22±0,17 ^a	55839±1686 ^a
	P	69,3±1,16 ^{bc}	1,47±0,023 ^b	2,00±0,00	4,48±0,006 ^a	3,50±0,02 ^b	40228±1417 ^b
	V	72,0±1,73 ^b	1,37±0,022 ^c	2,00±0,00	4,42±0,017 ^b	3,59±0,12 ^b	46728±1005 ^c
	O	78,0±0 ^a	1,72±0,045 ^d	2,00±0,00	4,16±0,006 ^c	3,34±0,26 ^b	27894±2551 ^d

*Valores médios (n=3) ± desvio padrão. Letras diferentes na mesma coluna indicam que há diferença estatística entre as médias de cada espécie (Teste de Tukey, p < 0,05).

** I, inverno; P, primavera; V, verão; O, outono.

Como as coletas das amostras foram realizadas em diferentes estações do ano, as espécies encontravam-se em fases fenológicas distintas. Na tabela 3 pode-se observar que foram obtidos resultados distintos nas análises para cada coleta, com exceção da concentração de sólidos solúveis, que manteve-se a mesma para todos os extratos analisados.

Pode-se observar na Tabela 3 que todas as amostras apresentaram bom rendimento de extração, sendo a maior recuperação ao final do processo verificada nos extratos de uvaia.

Todas as amostras apresentaram o mesmo conteúdo de sólidos solúveis nos extratos, independente da coleta e da espécie. Já o teor de matéria seca diferenciou significativamente entre as coletas, sendo o maior teor encontrado nas folhas de uvaia na coleta do outono de 2022 (2,25%). Pode-se observar que os maiores teores de matéria seca para as amostras de uvaia e jambolão foram encontradas nas coletas no inverno de 2021 e outono de 2022, já para a jabuticaba, os maiores teores foram encontrados nas coletas do inverno e primavera de 2021. Observou-se também, nas diferentes espécies, que coletas com maiores porcentagens de matéria seca apresentaram elevada concentração de compostos fenólicos.

O pH das amostras variaram na faixa de 4,40 a 5,15, tendo todos os extratos apresentado característica ácida, sendo os maiores valores encontrados nas coletas de uvaia do verão e outono de 2022, respectivamente.

Com relação aos compostos fenólicos totais, pode-se observar que a maior concentração foi encontrada na amostra de uvaia do outono de 2022 ($7,18 \pm 0,09$ g EAG/L), referente ao mês de abril de 2022. As demais amostras de uvaia apresentaram valores inferiores que não diferiam entre si. Na amostra de uvaia do outono de 2022 também pode-se observar alta capacidade sequestrante (53839 ± 2616 μ mol TEAC/L), apresentando valor superior às demais amostras de extrato da espécie.

Para a jabuticaba, houve diferença significativa no teor de compostos fenólicos entre todas as coletas, sendo o melhor resultado obtido na coleta da primavera de 2021 ($6,82 \pm 0,18$ gEAG/L), referente a outubro do mesmo ano.

Quanto à capacidade sequestrante de radicais DPPH, as amostras de extrato de folhas de jabuticaba apresentaram resultados semelhantes que não diferiram entre si.

A concentração de compostos fenólicos encontrados por Ueda et al. (2022) em extratos aquosos de folhas de uvaia foi de 80,06 mg AG/g de amostra, valor inferior aos encontrados no presente trabalho, no qual o menor valor encontrado em extratos de folhas de uvaia, em base seca, foi de 253,4 mg EAG/ g de extrato seco, valor referente a coleta no inverno de 2021. Essa diferença pode ser devido a utilização de outros parâmetros no preparo dos extratos aquosos (65°C/ 150 minutos/ 1:30 (m/v)) por Ueda et al. (2022), fator que pode influenciar na composição final dos extratos.

Fabiane (2019) avaliou extratos etanólicos de 11 espécies da família *Myrtaceae* coletadas em diferentes períodos. Dentre as espécies encontravam-se amostras de folhas de uvaia e de jabuticabeira híbrida e de cabinho. Para o extrato etanólico de folhas de uvaia, encontrou-se diferença na concentração de compostos fenólicos e atividade antioxidante nas diferentes coletas realizadas, sendo o melhor resultado encontrado na primeira coleta, referente a 29 de abril de 2017, na qual os resultados encontrados foram 105,02 mg AGE/g e 666,27 µmol TEAC, respectivamente. No presente trabalho também se observou que as maiores concentrações de compostos fenólicos e capacidade antioxidante foram encontrados na coleta realizada no mês de abril (outono de 2022).

Ainda segundo Fabiane (2019), também houve variação na composição dos extratos etanólicos de folhas de jabuticabeira híbrida e de cabinho nas diferentes coletas. Para jabuticabeira híbrida, Fabiane (2019) encontrou a concentração de 91,82 mg AGE/g e 560,45 µmol TEAC para as análises de compostos fenólicos e atividade antioxidante, respectivamente, referentes a coleta de abril de 2017, e para a jabuticabeira de cabinho encontrou-se 64,73 mg AGE/g na análise de compostos fenólicos, dados referentes à coleta 3 (2 de novembro de 2017) e a atividade antioxidante não diferiu nas coletas 2 e 3 (1 de agosto de 2017 e 1 de fevereiro de 2018, respectivamente) obtendo-se 410,60 µmol TEAC em ambas, tendo as duas variedades apresentado valores inferiores ao presente trabalho.

Pode-se observar na Tabela 3 que a coleta de folhas de jambolão no inverno de 2021 apresentou bons resultados para o teor de compostos fenólicos ($5,22 \pm 0,17$ gEAG/L), contrapondo com as demais coletas que apresentaram o menor teor de compostos fenólicos dentre as três espécies estudadas. A maior capacidade sequestrante de radicais DPPH dentre todas as amostras analisadas também foi encontrada para o jambolão coletado no inverno de 2021 (55839 ± 1686 μ mol TEAC/L), já a amostra do outono de 2022 apresentou a menor capacidade antioxidante dentre os extratos analisados (27894 ± 2551 μ mol TEAC/L).

Na avaliação do extrato etanólico de folhas de jambolão, Nerys (2018) observou que o teor de compostos fenólicos encontrado foi de 146,93 mg GAE em 1000 μ g/ml e, na mesma concentração de extrato, obteve-se a maior capacidade antioxidante quando comparado com os extratos de galhos e frutos de jambolão, que também foram caracterizados. No presente trabalho, como já citado, a amostra de jambolão do inverno de 2021 apresentou excelentes resultados para compostos fenólicos e atividade antioxidante, porém também observou-se que nas demais coletas a concentração de compostos bioativos diferenciou e mostrou-se significativamente inferior aos resultados da coleta no inverno de 2021.

Na busca por intensificação na extração de compostos fenólicos e flavonoides em extrato aquoso de folhas de jambolão, Mahindrakar e Rathod (2022) observaram que as maiores concentrações foram obtidas na extração assistida por ultrassom (1:25 (m/v) / 35°C/ 134 W/ ciclo 50%/ 9 minutos), obtendo-se 79,38 mg EAG/ g de extrato e 10,15 mg EC/ grama de extrato, respectivamente. Os extratos obtidos utilizando ultrassom, nos ensaios *in vivo*, apresentaram potencial antioxidante, antidiabético e anticâncer, tornando-os úteis para possíveis aplicações industriais por apresentarem compostos bioativos naturais obtidos a partir de solvente e tecnologia mais limpas.

Na Tabela 4 são encontrados os dados correspondentes a temperatura média ($T_{\text{média}}$), temperatura máxima (T_{max}), temperatura mínima ($T_{\text{mín}}$), pressão média ($P_{\text{média}}$), umidade relativa mínima média ($UR_{\text{méd}}$), média da radiação global máxima (RG_{max}) e precipitação acumulada (Precip.) referente aos meses da realização das coletas das amostras. Os seguintes dados foram fornecidos pelo IPMet – Centro de

Tabela 4. Dados climáticos dos períodos de coleta das amostras.

Período	T _{média} (°C)	T _{max} (°C)	T _{min} (°C)	P _{média} (mB)	UR _{méd} (%)	RG _{max} (W/m ²)	Precip. (mm)
AGO-2021	22,2	29,1	15,3	946,48	28,7	411,56	15,0
OUT-2021	23,1	29,2	17,0	942,51	46,7	512,92	130,8
JAN- 2022	25,1	30,4	19,8	941,09	52,7	604,41	426,5
ABR- 2022	23,7	29,6	17,7	943,64	45,9	464,67	27,2

Avaliando-se as concentrações de compostos fenólicos totais com relação aos dados climáticos apresentados na Tabela 4, observou-se que, de maneira geral, as maiores concentrações de fenólicos foram verificadas em épocas de colheita com menores índices de radiação e precipitação. Há uma tendência de acúmulo de metabólitos secundários em épocas de temperaturas e índices pluviométricos mais baixos. No entanto, era esperado que os maiores índices de radiação estivessem relacionados com maiores concentrações de compostos fenólicos (Gobbo-Neto e Lopes, 2007). Apesar das variações sazonais afetarem a concentração desses compostos, a idade e o desenvolvimento da planta também são fatores que influenciam significativamente.

Nascimento et al. (2011) evidenciou que em meses de temperatura e umidade mais amenas, foram encontrados maiores teores de flavonóides e maior atividade antioxidante em extrato de folhas *Bauhinia variegata* L., característica semelhante foi observada no presente trabalho, no qual obteve-se maior capacidade antioxidante nos extratos referentes às coletas dos meses de agosto e abril, que de acordo com a Tabela 4, foram os meses que apresentaram média de temperatura e umidade relativa inferiores aos da demais coletas. Logo, nota-se que a coleta de abril de folhas de jambolão foi a única amostra que não corroborou com esta informação, apresentando a menor capacidade sequestrante de radicais DPPH dentre as demais coletas da espécie.

5.2 Caracterização dos biofilmes

Para elaboração dos biofilmes ativos foi utilizado o extrato aquoso de folha de uvaia da coleta de abril de 2022 por apresentar maior concentração de fenólicos totais e alta capacidade sequestrante de radicais DPPH. As três formulações preparadas mostraram-se homogêneas, límpidas e com aspecto brilhante. As formulações F5 e F10 que continham extrato em sua composição apresentaram coloração levemente amarelada, sendo mais intensa no filme com maior concentração de extrato.

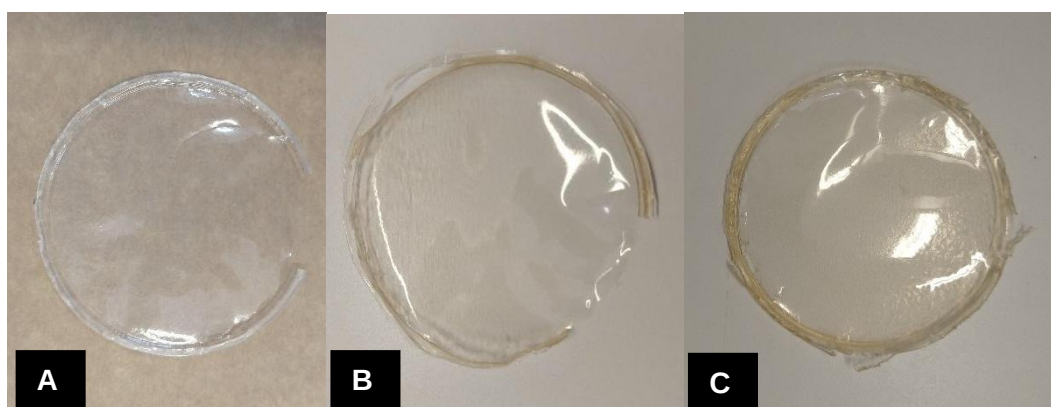


Figura 7. (A) F0; (B) F5; (C) F10. FONTE: O AUTOR, 2023.

Pode-se observar que a adição de extrato não causou turvação aparente nos biofilmes. O tempo de secagem e o desprendimento do biofilme da placa também não sofreram alteração com a adição de extrato. Na Tabela 5 estão apresentadas propriedades analisadas das três formulações de biofilme.

Tabela 5. Efeito da adição de extrato aquoso de folha de uvaia em biofilme de amido.

Propriedades do filme	F0	F5	F10
Espessura (mm)	0,118±0,028 ^{a*}	0,124±0,022 ^a	0,140±0,026 ^a
Umidade (%)	20,04±0,67 ^a	19,91±0,55 ^a	19,15±1,23 ^a
Solubilidade (%)	47,35±5,16 ^a	41,30±4,19 ^a	49,08±5,12 ^a
Índice de inchaço(%)	133,30±7,87 ^a	107,15±2,62 ^b	113,99±6,15 ^b
Opacidade (%)	0,557±0,12 ^b	0,352±0,06 ^b	0,834±0,05 ^a
PVA (g.mm/hm²KPa)	57,1*10 ⁻⁵ ±9*10 ^{-5a}	68,3*10 ⁻⁵ ±12*10 ^{-5a}	72,9*10 ⁻⁵ ±8*10 ^{-5a}
Capacidade sequestrante DPPH (µmolTEAC/g)	0,00±0,00 ^c	592,8±40,1 ^b	1203,9±86,2 ^a
Compostos fenólicos (mg EAG/g)	0,00±0,00 ^c	59,87±13,85 ^b	205,1±20,3 ^a

*Valores médios (n=3) ± desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha indicam que há diferença estatística (Teste de Tukey, p < 0,05)

Para que houvesse maior padronização do material durante o preparo, utilizou-se a mesma quantidade de matéria seca por placa em todas as formulações, e na Tabela 5 pode-se observar que a adição de extrato nas formulações F5 e F10 não causou variação significativa na espessura dos biofilmes, indicando que o extrato aquoso não aumenta o teor de matéria seca presente nos filmes.

A espessura dos filmes é um importante fator que afeta diretamente sua aplicabilidade como embalagem, pois a variação da espessura do material pode interferir nas características mecânicas, como resistência a tração e alongamento, e em sua permeabilidade a água e gases (Sachvdeva et al., 2017).

Pode-se observar que a formulação F10 apresentou a maior opacidade dentre as amostras, diferenciando significativamente de F0 e F5. O fato da média da espessura de F10 ser maior em relação às outras, pode explicar o aumento da opacidade, tendo em vista que são fatores correlacionados. As propriedades óticas dos biofilmes utilizados como embalagens são importantes parâmetros por estarem diretamente relacionadas ao vínculo que as mesmas podem criar com o consumidor devido a sua cor, brilho e opacidade (Nigam et al., 2021).

Também pode-se observar que a umidade e a solubilidade dos diferentes biofilmes não apresentaram variação significativa, indicando que a adição de extrato não interfere significativamente nem na hidrofobicidade nem na hidrofiliabilidade dos biofilmes. A solubilidade em água é realizada a fim de determinar a resistência dos biopolímeros à água, pois essa característica interfere diretamente em sua área de aplicação, pois alguns tipos de alimentos precisam ser embalados em alta umidade relativa ou até mesmo em contato direto com a água, o que exige que a embalagem tenha resistência e não proporcione degradação do produto (Gontard et al., 1994; Chen et al., 2022).

A solubilidade dos filmes foram bem semelhantes, e o menor resultado foi encontrado em F5 (41,30%). Durante a análise, os filmes das três formulações mantiveram seus formatos apesar de perderem quase metade de sua composição de matéria seca. Jaramillo et al. (2015) também não observou diferença significativa na solubilidade de filmes de amido quando acrescidos com extrato de erva mate.

Já o índice de inchaço dos filmes foi menor para os filmes que continham extrato aquoso de folhas de uvaia, diferenciando significativamente do controle. A análise de índice de inchaço também é realizada para avaliar o desempenho do material em contato com a água, e observou-se que a solubilização após um longo período de tempo imerso em água não apresentou diferença significativa. Em períodos mais curtos de imersão, os filmes F5 e F10 apresentaram maior resistência à água, tendo F5 apresentado a maior hidrofobicidade em ambas análises.

Outro parâmetro de grande importância a ser analisado em biofilmes são suas propriedades de barreira, pois, quando se trata de embalagens alimentícias, essa característica está diretamente ligada à vida útil do produto por ter menor

taxa de trocas gasosas. No presente trabalho, o acréscimo de extrato aquoso de folhas de uvaia na formulação dos filmes resultou em diferença significativa em relação ao controle, porém, nas formulações com extrato observou-se aumento da permeabilidade ao vapor de água, sendo F10 o filme com maior taxa de permeabilidade. Geralmente, filmes a base de amido apresentam baixa capacidade de barreira, resultando em elevadas taxas de permeabilidade de vapor de água, o que pode ser justificado devido a poros hidrofílicos que permitem a passagem do vapor (Bhat et al., 2013; Jaramillo et al., 2015).

Uma alternativa para diminuir a permeabilidade de vapor de água em filmes a base de amido é acrescentar em sua formulação componentes com características hidrofóbicas, como óleos essenciais, ou compostos que reajam com as moléculas de hidrogênio do amido deixando uma menor quantidade de moléculas livres para que realizarem ligações com moléculas de água. Feng et al. (2018) acrescentaram polifenóis de chá na formulação de filme de amido com o intuito de ocorrer a formação de pontes de hidrogênio entre o amido e os compostos fenólicos, obtendo como resultado final, baixa permeabilidade de vapor de água.

Uma das opções para elaboração de embalagens ativas é a adição de compostos que interagem diretamente com o produto a fim de aumentar sua vida útil. Os resultados para concentração de compostos fenólicos e capacidade sequestrante de radicais DPPH dos biofilmes adicionados de extrato aquoso de folhas de uvaia estão apresentados na Tabela 5.

É possível se observar que tanto a concentração de compostos fenólicos, como a capacidade sequestrante de radicais DPPH apresentaram diferença significativa nos diferentes filmes, tendo F10 apresentado o maior teor de fenólicos totais e maior atividade antioxidante, como esperado. O filme controle também foi analisado para determinação da concentração de biocompostos, porém tanto na análise de compostos fenólicos, como na análise de capacidade sequestrante de radicais DPPH, não foi detectada reação.

Resultados semelhantes foram observados por Filipini et al. (2020), a adição de extrato de pele de jambolão, em diferentes concentrações, na matriz de metilcelulose também resultou em aumento significativo da capacidade sequestrante de radicais DPPH do biofilme, que também pode ser utilizado como

indicador de pH do meio, por apresentar mudança em sua coloração quando exposto a diferentes pHs.

Os resultados observados no presente trabalho são promissores por demonstrarem boa interação entre a matriz do biofilme e o extrato, e também demonstram que o extrato aquoso de folha de uvaia apresenta boa aplicabilidade como fonte de antioxidante natural.

Dentre as vantagens socioeconômicas encontradas na substituição de polímeros de petróleo por polímeros naturais, está a biodegradabilidade desses materiais. Plásticos convencionais podem levar mais de 500 anos para se decompor no meio ambiente, e durante esse processo produzem toxinas que contaminam água, solo e atmosfera (Ali et al., 2021). Para avaliar este aspecto, as três formulações foram enterradas em solo para avaliação visual de sua biodegradabilidade.

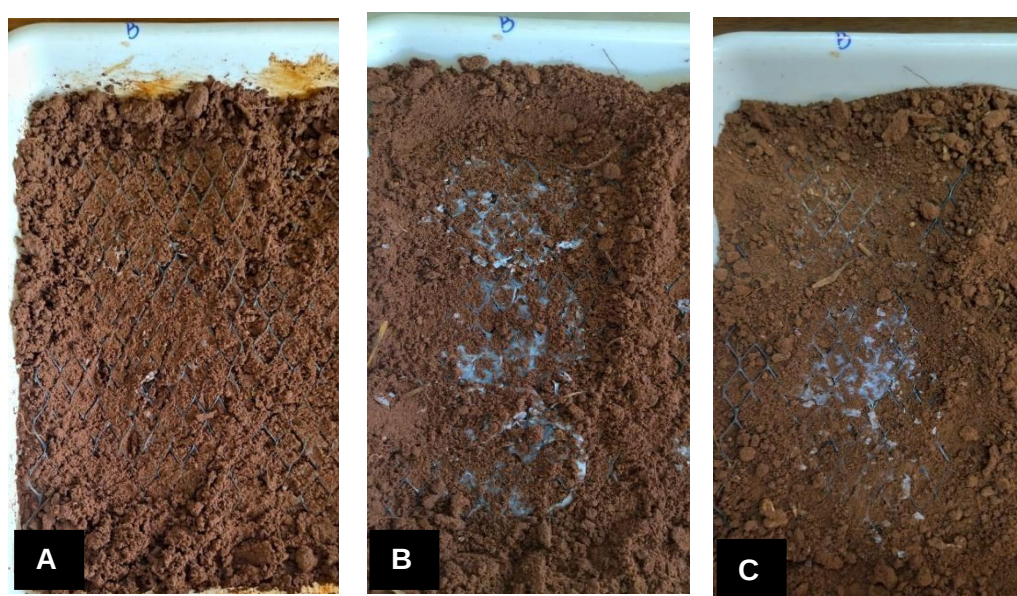


Figura 8. Biodegradabilidade de F0 com 5 (A), 10 (B) e 15 (C) dias. FONTES: O AUTOR, 2023

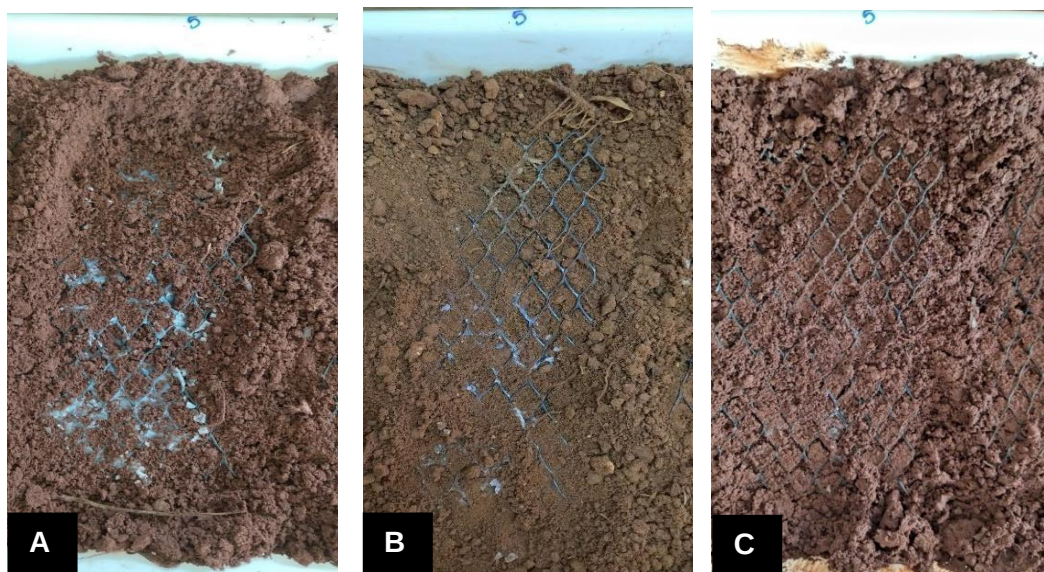


Figura 9. Biodegradabilidade de F5 com 5 (A), 10 (B) e 15 (C) dias. FONTES: O AUTOR, 2023

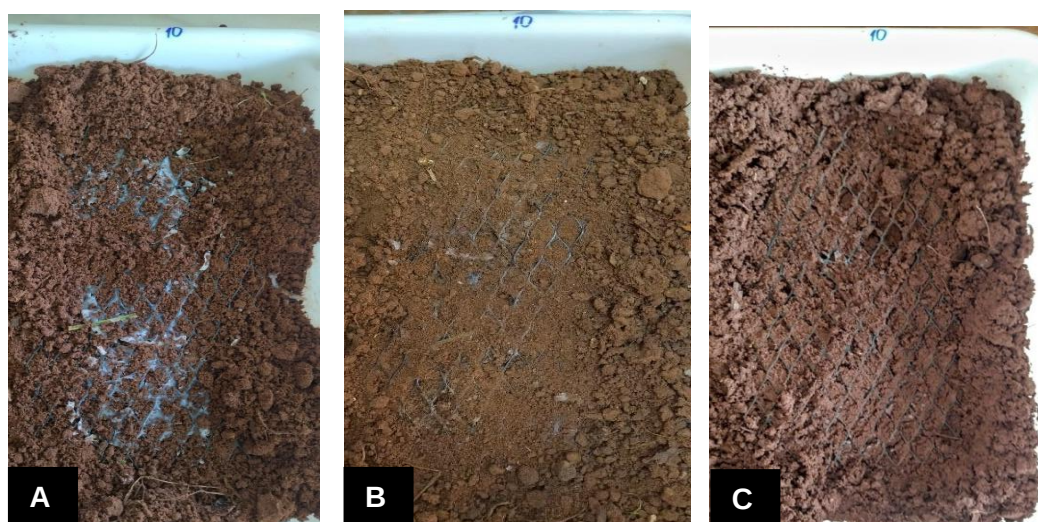


Figura 10. Biodegradabilidade de F10 com 5 (A), 10 (B) e 15 (C) dias. FONTES: O AUTOR, 2023

Como pode se observar as figuras 8, 9 e 10, os três biofilmes apresentaram alta taxa de biodegradabilidade em solo, pois, apesar de ter sido usado o aparato sintético para localizar e remover os filmes da terra para o registro das imagens, com apenas 5 dias de análise os biofilmes não apresentavam mais estrutura, tendo seus fragmentos se depositado entre os espaços do suporte. Ao final dos 15 dias somente pequenas partículas eram visíveis e notou-se que não havia presença de partículas nem no solo que estava

sobre os biofilmes e que foi removido para avaliação.

A biodegradação de materiais expostos ao meio ambiente é definida pela fragmentação, perda de propriedades mecânicas ou modificação química devido ação de microrganismos. Fatores bióticos e abióticos, em condições naturais, podem agir juntamente na degradação de polímeros, resultando em diferentes graus de biodegradabilidade (Calmon-Decriaud et al., 1998).

De acordo com Singh e Sharma (2008), condições ambientais, como clima quente e alta umidade relativa, podem acelerar a biodegradação de materiais, o que corrobora com o presente trabalho, pois durante o período da análise de biodegradabilidade observou-se alta taxa de pluviosidade e altas temperaturas, condições climáticas características do verão brasileiro.

A rápida biodegradabilidade de polímeros naturais de diferentes matrizes é uma característica já datada na literatura, como por exemplo, por Filipini et al. (2020), que observou que biofilmes de metilcelulose com extrato de pele de jambolão apresentavam quase total biodegradação em 15 dias. Chen et al. (2022) também constatou excelente biodegradabilidade em solo de biofilmes de álcool polivinílico com goma xantana e Dalev et al. (2000) em filmes de gelatina quimicamente modificada, que em dez dias haviam sido quase totalmente degradados.

6 Conclusões

A variação na composição dos extratos aquosos de jabuticaba, uvaia e jambolão demonstra que as estações do ano influenciam na composição das plantas. O único parâmetro que se manteve constante nas diferentes espécies e coletas realizadas foi a concentração de sólidos solúveis, que apresentou o mesmo resultado para todos os extratos analisados.

Nos extratos de uvaia e jambolão observou-se uma relação direta entre maior concentração de compostos fenólicos e atividade antioxidante, o que não foi verificado no extrato de jabuticaba que independente da estação do ano apresentou atividade antioxidante semelhante estatisticamente.

A coleta das folhas de jambolão realizada no inverno de 2021 e das folhas de uvaia coletadas no outono de 2022 apresentaram os melhores resultados de

compostos fenólicos totais e atividade antioxidante dentre todos os extratos analisados, sendo aplicado o extrato de folhas de uvaia na formulação dos biofilmes a base de amido.

Obteve-se bom desempenho na elaboração dos biofilmes, formando materiais homogêneos, brilhantes e translúcidos, com leve coloração amarelada nas formulações que continham extrato em sua composição.

Os biofilmes apresentaram bom desempenho nas análises e demonstraram ser parcialmente solúveis em água, como esperado de filmes a base de amido, e os extratos não interferiram na hidrofobicidade das matrizes.

Os biofilmes com adição de extrato apresentaram potencial antioxidante, sendo observado aumento diretamente proporcional da atividade antioxidante com o aumento de concentração de extrato na composição. Não se detectou reação antioxidante no filme controle.

As três formulações avaliadas apresentaram ótimo desempenho na análise de biodegradabilidade, sendo decompostos quase totalmente em 15 dias.

Observando-se que houve variação significativa apenas nas análises de compostos fenólicos, atividade antioxidante e opacidade, e levando em consideração os objetivos do presente trabalho, pode-se concluir que a formulação que apresentou melhor desempenho foi F10.

Logo, conclui-se que os biofilmes produzidos apresentam potencial para aplicação como embalagens ativas pois apresentaram bom desempenho nas características analisadas, porém é necessário uma avaliação mais abrangente para certificar a eficiência de seu desempenho e possível aplicabilidade do material desenvolvido.

Referências Bibliográficas

ALI, S. S.; ELSAMAHY, T.; KOUTRA, E.; KORNAROS, M.; EL-SHEEKH, M.; ADBELKARIM, E. A.; ZHU, D.; SUN, J. Degradation of conventional plastic wastes in the environment: A review on current status of knowledge and future perspectives of disposal. **Science of the Total Environment**, v. 771, p. 1-22, 2021.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC international**. 16th ed. Gaithersburg: AOAC international, 1141p., 1997.

ASSUNÇÃO-SILVA, C. C.; BUENO, M. L.; ASSIS, L. C. S. Centers of richness and endemism of Lauraceae in the Espinhaço Range, Brazil. **Flora**, v. 285, p. 1-12, 2021.

ASTM. American Society for Testing Materials. Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials. **Annual book of ASTM standards**. Designation E96/E96M-16. Philadelphia: American Society for Testing Materials, 2016.

AVELLA, M.; VLIEGER, J. J. D.; ERRICO, M. E.; FISCHER, S.; VACCA, P.; VOLPPE, M. G. Biodegradable starch/clay nanocomposite films for food packaging applications. **Food Chemistry**, v. 93, p. 467-474, 2005.

AVIO, C. G.; GORBI, S.; REGOLI, F. Plastics and microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat. **Marine Environmental Research**, v. 128, p. 2-11, 2017.

BABU, R. P.; O'CONNOR, K.; SEERAM, R. Current progress on bio-based polymers and their future trends. **Progress in Biomaterials**, v. 2, n. 8, 16 p., 2013.

BARCIA, M. T.; PERTUZATTI, P. B.; JACQUES, A. C.; GODOY, H. T.; ZAMBIAZI, R. Bioactive compounds, antioxidant and percent composition of jambolão fruits (*Syzygium cumini*). **The Natural Products Journal**, v. 2, p. 129-138, 2012.

BHAT, R.; ABDULLAH, N.; DIN, R. H.; TAY, G. S. Producing novel sago based food packaging films by incorporating lignin isolated from oil palm black liquor waste. **Journal of Food Engineering**, v. 119, p. 707-713, 2013.

BCC. Global Markets and Technologies for Bioplastics. **BCC Research Report Overview**, 2021.

BFG. Brazilian Flora 2020: Leveraging the power of a collaborative scientific network. **Flora of Brazil**, v. 71, p. 178-198, 2022.

BOLUMAR, T. LAPEÑA, D.; SKIBSTED, L. H.; ORLIEN, V. Rosemary and oxygen scavenger in active packaging for prevention of high-pressure induced lipid oxidation in pork patties. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 7, p. 26-33, 2016.

BRAGA, L. R.; SILVA, F. M. Embalagens ativas: uma nova abordagem para embalagens alimentícias. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 4, p. 170-186, 2017.

CAI, W.; TREMBLAY, L. A.; AN, L. Enhancing consumption responsibility to address global plastic pollution. **Marine Pollution Bulletin**, v. 183, p. 1-3, 2022.

CALMON-DECRIAUD, A.; BELLON-MAUREL, V.; SILVESTR, F. Standard methods for testing the aerobic biodegradation of polymeric materials. Review and perspectives. **Blockcopolymers - polyelectrolytes – biodegradation**, v. 135, p.

207-226, 1998.

CARINA, D.; SHARMA, S.; JAISWAL, A. K.; JAISWAL, S. Seaweeds polysaccharides in active food packaging: A review of recent progress. **Trends in Food Science & Technology**, v. 110, p. 559-572, 2021.

CHEN, J.; ZHENG, M.; TAN, K. B.; LIN, J.; CHEN, M.; ZHU, Y. Polyvinyl alcohol/xanthan gum composite film with excellent food packaging, storage and biodegradation capability as potential environmentally-friendly alternative to commercial plastic bag. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 212, p. 402-411 2022.

CITADIN, I.; DANNER, M. A.; SASSO, S. A. Z. Jabuticabeiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 2, p. 343-656, 2010.

COSTA, A. G. V.; GARCIA-DIAZ, D. F.; JIMENEZ, P.; SILVA, P. I. Bioactive compounds and health benefits of exotic tropical red-black berries. **Journal of Functional Food**, v. 5, p. 539-549, 2013.

COSTA, R. S.; OLIVEIRA, I. V. M.; MÔRO, F. V.; MARTINS, A. B. G. Aspectos morfológicos e influencia do tamanho da semente na germinação do jumbo-vermelho. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, p. 117-120, 2006.

CUNHA, G. F.; SOARES, J. C.; SOUSA, T. L.; EGEA, M. B.; ALENCAR, S. M.; BELISÁRIO, C. M.; PLÁCIDO, G. R. Cassava-Starch-Based Films Supplemented with Propolis Extract: Physical, Chemical, and Microstructure Characterization. **Biointerface Research in Applied Chemistry**, v. 11, p. 12149-12158, 2021.

CUNHA, G. F.; SOARES, J. C.; SOUSA, T. L.; EGEA, M. B.; ALENCAR, S. M.; BELISÁRIO, C. M.; PLÁCIDO, G. R. Cassava-starch-based films supplemented with propolis extract: physical, Chemical, and microstructure characterization. **Biointerface Research in Applied Chemistry**, v. 11, p. 12149-12158, 2021.

DALEV, P. G.; PATIL, R. D.; MARK, J. E.; VASSILEVA, E. FAKIROV, S. Biodegradation of chemically modified gelatin films in soil. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 78, p. 1341-1347, 2000.

DUARTE, Odilio.; PAULL, Robert. E. Exotic Fruits and Nuts of the New World. Edição ilustrada, EUA: Cabi, 2015. ISBN-13: 978 1 78064 505 6.

EL-WALKIL, N. A.; HASSAN, E. A.; ABOUD-ZEID, R. E.; DUFRESNE, A. Development of wheat gluten/nanocellulose/titanium dioxide nanocomposites for active food packaging. **Carbohydrate Polymers**, v. 124, p. 337-346, 2015.

FABIANE, Kamila Cristina. Atividade antioxidante e antimicrobiana de extratos vegetais de folhas de espécies nativas de *Myrtaceae*, 2019. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2019.

FENG, M.; YU, L.; ZHU, P.; ZHOU, X.; LIU, H.; YANG, Y.; ZHOU, J.; GAO, C.; BAO, X.; CHEN, P. Developmente and preparation of active starch films carrying tea polyphenol. **Carbohydrate Polymers**, v. 196, p. 162-167, 2018.

FILIPINI, G. S.; ROMANI, V. P.; MARTINS, V. G. Biodegradable and active-intelligent films based on methylcellulose and jambolao (*Syzygium cumini*) skins extract for food packaging. **Food Hydrocolloids**, v. 109, p. 1-10, 2020.

FORZZA, R. C.; BAUMGRATZ, J. F. A.; BICUDO, C. E. M.; CANHOS, D. A. L.; CARVALHO JR., A. A.; COELHO, M. A. N.; COSTA, A. F.; COSTA, D. P.; HOPKINS, M. G.; LEITMAN, P. M.; LOHMANN, L. G.; LUGHADHA, E. N.; MAIA, L. C.; MARTINELLI, G.; MENEZES, M.; MORIM, M. P.; PEIXOTO, A. L.; PIRANI, J. R.; PRADO, J.; QUEIROZ, L. P.; SOUZA, S.; SOUZA, V. C.; STEHMANN, J. R.; SYLVESTRE, L. S.; WALTER, B. M. T.; ZAPPI, D. C. New Brazilian Floristic List Highlights Conservation Challenges. **American Institute of Biological Sciences**, v. 62, p. 39-45, 2012.

FREITAS, T. P.; TAVER, I. B.; SPRICIGO, P. C.; AMARAL, L. B.; PURGATTO, E.; JACOMINO, A. P. Volatile compounds and physicochemical quality of four jabuticabas (*Plinia* sp.). **Molecules**, v. 25, 17 p., 2020.

GALLO, F. FOSSI, C.; WEBER, R.; SANTILO, D.; SOUSA, J.; INGRAM, I.; NADAL, A.; ROMANO, D. Marine litter plastics and microplastics and their toxic chemicals components: the need for urgent preventive measures. **Environmental Sciences Europe**, v. 30, p. 1-14, 2018.

GEYER, R. JAMBECK, J. R.; LAW, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science Advances**, v. 3, p. 1-5, 2017.

GIULIETTI, A. M.; HARLEY, R. M.; QUEIROZ, L. R.; WANDERLEY, M. G. L.; BERG, C. V. D. Biodiversidade e conservação das plantas no Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, p. 52-61, 2005.

GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Plantas medicinais: Fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, v. 30, p. 374-381, 2007.

GONTARD, N.; DUCHEZ, C.; CUQ, J. L.; GUILBERT, S. Edible composites films of wheat gluten and lipids: water vapour permeability and other physical properties. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 29, p. 39-50, 1994.

GORDON, A.; JUNGFER, E.; SILVA, B. A.; MAIA, J. G. S.; MARX, F. Phenolic constituents and antioxidant capacity of four underutilized fruits from the Amazon region. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, p. 7688-7699, 2011.

GRATTAPAGLIA, D.; VAILLANCOURT, R. E.; SHEPHERD, M.; THUMMA, B. R.; FOLEY, W.; KÜLHEIM, C.; POTTS, B. M.; MYBURG, A. A. Progress in Myrtaceae genetics and genomics: *Eucalyptus* as the pivotal genus. **Tree Genetics & Genomes**, v. 8, p. 463-508, 2012.

HAN, Y.; XU, Q.; LU, Z.; WANG, J. Preparation of transparent zein films for cell culture applications. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 120, p. 55-62, 2014.

HERRMAN, C.; RHEIN, S.; STRÄTER, K. F. Consumers' sustainability-related perception of and willingness-to-pay for food packaging alternatives. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 181, p. 1-13, 2022.

JARAMILLO, C. M.; SELIGRA, P. G.; GOYANES, S.; BERNAL, C.; FAMÁ, L. Biofilms based on cassava starch containing extract of yerba mate as antioxidante and plasticizer. **Starch**, v. 67, p. 780-789, 2015.

JORGE, N. **Embalagem para alimentos**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2013. KECHICHIAN, V.; DITCHFIELD, C.; VEIGA-SANTOS, P.; TADINI, C. C. Natural antimicrobial ingredients incorporated in biodegradable films based on cassava starch. **LWT – Food Science and Technology**, São Paulo, v. 43, p. 1088-1094, 2010.

KLEIN, E. J.; SANTOS, K. A.; PALÚ, F.; VIEIRA, M. G. A.; SILVA, E. A. se of supercritical CO₂ and ultrasound-assisted extractions to obtain α/β amyrin-rich extracts from uvaia leaves (*Eugenia pyriformis* Cambess.). **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 137, p. 1-8, 2018.

LÓPEZ, O. V.; LECOT, C. J.; ZARITZKY, N. E.; GARCÍA, M. A. Biodegradable packages development from starch based heat sealable films. **Journal of Food Engineering**, v. 105, p. 254-263, 2011.

LUCRESIA, L.; STADNIK, A.; CAMPOS, L.; ROQUE, N. Myrtaceae floristic survey and vegetation distribution in a central portion of Chapada Diamantina, Brazil. **Phytotaxa**, v. 498, p. 71-86, 2021.

MAHINDRAKAR, K. V.; RATHOD, V. K. Ultrasound-assisted intensified aqueous extraction of phenolics from waste *Syzygium cumini* leaves: Kinetic studies and evaluation of antioxidant, antidiabetic and anticancer potential. **Food Bioscience**, v. 46, p. 1-11, 2022.

MARIÑO-CORTEGOSO, S.; STANZIONE, M.; ANDRADE, M. A.; RESTUCCIA, C.; QUIRÓS, A. R. B.; BUONOCORE, G. G.; BARBOSA, C. H.; VILARINHO, F.; SILVA, A. S.; RAMOS, F.; KHWALDIA, K.; SENDÓN, R.; BARBOSA-PEREIRA, L. Development of active films utilizing antioxidant compounds obtained from tomato and lemon by-products for use in food packaging. **Food Control**, v. 140, p. 1-11, 2022.

MARQUES, N. C. S.; MACHADO, R. B.; AGUIAR, L. M. S.; MENDONÇA-GALVÃO, L.; TIDONS, R.; VIEIRA, E. M.; MARINI-FILHO, O. J.; BUSTAMANTE, M. Biodiversidade e conservação das plantas no Brasil. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 20, p. 69-78, 2022.

MATJASIC, T.; SIMCIC, T.; MEDVESCEK, N.; BAJT, O.; DREO, T.; MORI, N. Critical evaluation of biodegradation studies on synthetic plastics through a systematic literature review. **Science of the Total Environment**, v. 752, p. 1-16, 2021.

MEDINA-JARAMILLO, C.; OCHOA-YEPES, O.; BERNAL, C.; FAMÁ, L. Active and smart biodegradable packaging based on starch and natural extracts. **Carbohydrate Polymers**, v. 176, p. 187-194, 2017.

MIGLIATO, K. F.; MELLO, J. C. P.; HIGA, O. Z.; RODAS, A. C. D.; CORRÊA, M. A.; MENDES-GIANNINI, M. K. S.; FUSCO-ALMEIDA, A. M.; PIZZOLITTO, A. C.; SALGADO, H. R. N. Antimicrobial and cytotoxic activity of fruit extract from *Syzygium cumini* (L.) skeels. **Latin American Journal of Pharmacy**, v. 29, n. 5, p. 725-730, 2010.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (Brasil): **Diagnóstico Temático – Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos**. Brasília, DF: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), 2021.

MOALLA, S.; AMMAR, I.; FAUCONIER, M. L.; DANTHINE, S. BLECKER, C.; BESBES, S.; ATTIA, H. Development and characterization of chitosan films carrying *Artemisia campestris* antioxidants for potential use as active food packaging materials. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 183, 13 p., 2021.

MORAES, F. P.; COLLA, L. M. Alimentos funcionais e nutracêuticos: definições, legislações e benefícios à saúde. **Revista Eletrônica de Farmácia**, v. 3, n. 2, p. 109- 122, 2006.

NASCIMENTO, J. C.; LAGE, L. F. O.; CAMARGOS, C. R. D.; AMARAL, J. C.; COSTA, L. M.; SOUSA, A. N.; OLIVEIRA, F. Q. Determinação da atividade antioxidante pelo método DPPH e doseamento de flavonóides totais em extratos de folhas da *Bauhinia variegata* L.. **Revista Brasileira de Farmácia**, v. 92, p. 327-332, 2011.

NERYS, Leylianne de Cássia Rodrigues. Potencial citotóxico e antimicrobiano de bioativos de *Syzygium cumini*, *Syzygium malacceense* e *Psidium guineense*, 2018. Dissertação (Mestrado em Morfotecnologia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

NIGAM, S.; APURBA, K. D.; PATIDAR, M. K. Synthesis, characterization and biodegradation of bioplastic films produced from *Parthenium hysterophorus* by incorporating a plasticizer (PEG600). **Environmental Challenges**, v. 5, p. 1-12 2021.

OLIVEIRA, A. C.; VALENTIM, I. B.; GOULART, M. O. F.; SILVA, C. A.; BECHARA, E. J. H.; TREVISAN, M. T. S. Fontes vegetais naturais de antioxidantes. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 689-702, 2009.

OTONI, C. G.; AVENA-BUSTILLOS, R. J.; AZEREDO, H. M. C.; LOREVICE, M. V.; MOURA, M. R.; MATTOSO, L. H. C.; MCHUGH, T. H. Recent Advances on Edible Films Based on Fruits and Vegetables – A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v.16, p. 1151-1169, 2017.

PINCELLI, I. P.; JÚNIOR, A. B. C.; MATIASS, M. S.; RUTKOWSKI, E. W. Post-consumer plastic packaging waste flow analysis for Brazil: The challenges moving towards a circular economy. **Waste Management**, v. 126, p. 781-790, 2021.

POMPEU, J. Performance of an automated conservation status assessment for the megadiverse vascular flora of Brazil. **Journal for Nature Conservation**, v. 70, p. 1-8, 2022.

Proença, C.E.B.; Amorim, B.S.; Antonicelli, M.C. ; Bünger, M.; Burton, G.P.; Caldas, D.K.D.; Costa, I.R.; Faria, J.E.Q.; Fernandes, T.; Gaem, P.H.; Giaretta, A.; Lima, D.F.; Lourenço, A.R.L.; Lucas, E.J.; Mazine, F.F.; Meireles, L.D.; Oliveira, M.I.U.; Pizzardo, R.C.; Rosa, P.O.; Santana, K.C.; Santos, L.L.D.; Santos, M.F.; Souza, M.C.; Souza, M.A.D.; Stadnik, A.; Staggemeier, V.G.; Tuler, A.C.; Valdemarin, K.S.; Vasconcelos, T.N.C.; Vieira, F.C.S.; Sobral, M. 2020. *Myrtaceae in Flora do Brasil 2020*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB171>>. Acesso em: 04 out. 2022.

RANGARAJ, V. M.; RAMBABU, K.; BANAT, F.; MITTAL, V. Effect of date fruit waste extract as an antioxidant additive on the properties of active gelatin films. **Food Chemistry**, v. 355, p. 1-9, 2021.

RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. M. S.; BALASUBRAMANIAM, V. M.; NIRANJAN, K.; KNORR, D. Opportunities and Challenges in High Pressure Processing of Foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 47, p. 69-112, 2007.

RHEIN, S.; SCHMID, M. Consumers' awareness of plastic packaging: More than just environmental concerns. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 162, p. 1-11, 2020.

ROBERTSON, Gordon L. Food Packaging – Principles and Practice. 3^a ed, EUA: CRC Press, 2013.

RODRIGUES, K. A. F.; AMORIM, L. V.; OLIVEIRA, J. M. G.; DIAS, C. N.; MORAES, D. F. C.; ANDRADE, E. H. A.; MAIA, J. G. S.; CARNEIRO, S. M. P.; CARVALHO, F. A. A. Eugenia uniflora L. Essential Oil as a Potential Anti-Leishmania Agent: Effects on Leishmania amazonensis and Possible Mechanisms of Action. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2013, p. 1-10, 2013.

SACHVEDA, A.; VASHIST, S.; CHOPRA, R.; PURI, D. Antimicrobial activity of packaging film to prevent bead spoilage. **International Journal of Food Science and Nutrition**, v. 2, p. 29-37, 2017.

SALOMÃO, Luiz C. C.; SIQUEIRA, Dalmo L. de; AQUINO, César, F.; LINS, Leila C. R. Jabuticaba – *Myrciaria* spp. In: RODRIGUES, Sueli; SILVA, Ebenezar; BRITO, Edy de. **Exotic Fruits**. Brasil: Academic Press, 2018, p. 237-244.

SÁNCHEZ, C. Fungal potential for the degradation of petroleum-based polymers: An overview of macro- and microplastics biodegradation. **Biotechnology Advances**, v. 40, p. 1-12, 2020.

SANTANA, M. C. C. B.; MACHADO, B. A. S.; SILVA, T. N.; NUNES, I. L.; DRUZIAN, J. I. Incorporação de urucum como aditivo antioxidante em embalagens biodegradáveis a base de quitosana. **Ciência Rural**, v. 43, p. 544-550, 2013.

SANTOS, C.; GALAVERNA, R. S.; ANGOLINI, C. F.; NUNES, V. V. A.; ALAMEIDA, L. F. R.; RUIZ, A. L. T. G.; CARVALHO, J. E.; DUARTE, R. M. T.; DUARTE, M. C. T.; EBERLIN, M. N. Antioxidative, Antiproliferative and Antimicrobial Activities of Phenolic Compounds from Three Myrcia Species. **Molecules**, v. 23, p. 1-12, 2018.

SANTOS, L. S.; FILHO, E. G. A.; RIBEIRI, P. R. V.; ZOCCOLO, G. J.; SILVA, S. M.; LUCENA, E. M. P.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S. Chemotaxonomic evaluation of different species from the Myrtaceae family by UPLC-qToF/MS-MS coupled to supervised classification based on genus. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 90, p. 1-10, 2020.

SCHMIDT, Helena. Caracterização físico-química, nutricional e de compostos bioativos de sete espécies da família *Myrtaceae* nativas da região Sul do Brasil, 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – RS, Porto Alegre, 2018.

SEHWAG, S.; DAS, M. Composition and functionality of whole jamun based functional confection. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 6, p. 2569-2579, 2016.

SEHWAG, S.; DAS, M. Nutritive, therapeutic and processin aspects of Jamun, *Syzygium cuminii* (L.) skeels – An overview. **Indian Journal of Natural Products and Resources**, v. 5; n. 4, p. 295-397, 2014.

SÉRIE PRODUTOR RURAL - Mirtáceas com frutos comestíveis do Estado de São Paulo: conhecendo algumas plantas. Piracicaba: ESALQ – Divisão de Biblioteca e Documentação, 1997- . ISSN 1414-4530.

SEVERO, J.; SANTOS, R. S.; CASARIL, J.; TEICHER, A.; SILVA, J. A.; ROMBALDI, C. V. Destanização e conservação de frutos de jabolão. **Ciência Rural**, v. 40, n. 4, p. 976-982, 2010.

SGANZERLA, W. G.; KOMATSU, R. A.; PASSOS, J. F. M.; COSTA, M. D.; STROSCHEIN, M. R. D.; SCHONS, P. F.; VEECK, A. P. L. Variability in the molecular, phenological, and physicochemical characteristics of uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess - Myrtaceae) accessions from the Brazilian Atlantic rainforest. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 35, p. 1-11, 2021.

SHIPLEY, B. R.; MCGUIRE, J. L. Interpreting and integrating multiple endemism metrics to identify hotspot for conservation priorities. **Biological Conservation**, v. 265, 1-12, 2022.

SINGH, B.; SHARMA, N. Mechanistic implications of plastic degradation. **Polymer Degradation and Stability**, v. 93, p. 561-584, 2008.

SILVA, J. C.; SANTOS, D. S.; ROCHA, T. B. Identifying geomorphological diversity hotspot for conservation purposes: Application to a coastal protected area in Rio de Janeiro State, Brazil. **Applied Geography**, v. 142, 1-16, 2022.

SILVA, A. P. G.; TOKAIRINI, T. O.; ALENCAR, S. M.; JACOMINO, A. P. Characteristics of the fruits of two uvaia populations grown in Salesópolis, SP, Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 2, 2018.

SILVEIRA, A. C.; KASSUIA, Y. S.; DOMAHOVSKI, R. C.; LAZZAROTTO, M. **Método de DPPH adaptado: uma ferramenta para analisar atividade antioxidante de polpa de frutos da erva-mate de forma rápida e reprodutível**. Guaraituba – PR: EMBRAPA FLORESTAS, 2018.

SINGLETON, V. e ROSSI, J. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, p. 144-158, 1965.

SIVAN, A. New perspectives in plastic biodegradation. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 22, p. 422-426, 2011.

SOARES, Jackeline Cintra. Aproveitamento Alimentar de Jambolão, 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

STEFANELLO, M. E. A.; PASCOAL, A.C. R.F.; SALVADOR, M. J. Essential Oils from Neotropical Myrtaceae: Chemical Diversity and Biological Properties. **Chemistry & Biodiversity**, v. 8, p. 73-94, 2011.

THORNHILL, A. H.; HO, S. Y. W.; KÜLHEIM, C.; CRISP, M. D. Interpreting the modern distribution of Myrtaceae using a dated molecular phylogeny. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 93, p. 29-43, 2015.

UEDA, K. M.; RONKO, L. Z.; TOCI, A. T.; IGARASHI-MAFRA, L.; MAFRA, M. R.; FARIAS, F. O. Green Designer Solvents for Boosting the Extraction of Biocompounds from *Eugenia pyriformis* Cambess Leaves. **Food, Science e Technology**, v. 2, p. 532- 540, 2022.

UNEP. Marine plastic debris and microplastics – Global lessons and research to inspire action and guide policy change. **United Nations Environment Programme**,

2016.

VASCONCELOS, T. B.; CARDOSO, A. R. N. R.; JOSINO, J. B.; MACENA, R. H. M.; BASTOS, V. P. D. Radicais Livres e Antioxidantes: Proteção ou Perigo? **UNOPAR Científica: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 6, n. 3, p. 213-219, 2014.

VELIS, C. Global recycling markets: plastic waste. A story for one player – China. Globalisation and Waste Management Task Force, 67 p., 2014.

VINAYAGAMOORTHY, R.; VENKATAKOTESWARARAO, G. Synthesis and property analysis of green resin-based composites. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, v. 33, n. 10, p. 1429-1445, 2020.

VINOD, A.; SANJAY, M. R.; SUCHART, S.; JYOTISHKUMAR, P. Renewable and sustainable materials: Na assessment on biofibers, biofilms, biopolymers and biocomposites. **Journal of Cleaner Production**, v. 258, p. 1-27, 2020.

VIZZOTTO, M.; PEREIRA, M. C. **Caracterização das propriedades funcionais do jambolão**. Pelotas – RS: EMBRAPA CLIMA TEMPERADO, 2008.

WILSON, P. G.; O'BRIEN, M. M.; GADEK, P. A.; QUINN, C. J. Myrtaceae revisited: A reassessment of infrafamilial groups. **American Journal of Botany**, v. 88, p. 2013-2025, 2001.

WILSON, Peter G. Myrtaceae. *In*: KUBITZKI, Klaus. **The Families and Genera of Vascular Plants**. Alemanha: Springer, 2011. p. 212-271.

WU, S. B.; LONG, C.; KENNELLY, E. J. Phytochemistry and health benefits of jaboticaba, an emerging fruit crop from Brazil. **Food Research International**, v. 54, p. 148-159, 2013.

WYRWA, J.; BARSKA, A. Innovations in the food packaging market: active packaging. European. **Food Research and Technology**, v. 243, p. 1681-1692, 2017.