



## Preparação e caracterização de bioplástico de amido extraído de sementes de resíduos agroindustriais

Preparation and characterization of starch-based bioplastics extracted from agro-industrial waste seeds

I. M. Santana<sup>1\*</sup>; C. F. S. Santos<sup>2</sup>; P. F. Andrade<sup>3</sup>; L. O. Mota<sup>1</sup>; L. S. Freitas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Química, Universidade Federal de Sergipe, 49107-230, São Cristóvão-SE, Brasil

<sup>2</sup>Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 21941-909, Rio de Janeiro-RJ, Brasil

<sup>3</sup>Diretoria Regional de Educação -08, Centro de Excelência Professor Hamilton Alves Rocha, 49100-000, São Cristóvão-SE, Brasil

\*izabel.melo96@gmail.com

(Recebido em 17 de janeiro de 2025; aceito em 28 de julho de 2025)

Durante várias décadas, plásticos derivados do petróleo foram amplamente utilizados na indústria e comércio por conta de suas características flexíveis e custo acessível. No entanto, a crescente conscientização ambiental revelou problemas, como a degradação lenta desses plásticos e a poluição resultante do descarte inadequado. A busca por alternativas biodegradáveis ganhou destaque, despertando o interesse de plásticos provenientes de fontes renováveis e capazes de se decompor naturalmente. Diante disso, o amido se destaca por sua origem renovável, capacidade de biodegradação e versatilidade econômica. O desafio de criar filmes apenas de amido, devido à sua falta de maleabilidade e fragilidade, requer a adição de complementos nas matrizes poliméricas. A inclusão de plastificantes é essencial para diminuir a rigidez, melhorando as propriedades mecânicas dos filmes. Nesse contexto, este estudo tem como objetivo produzir filmes utilizando amidos das sementes de jaca, manga e abacate, com glicerol como plastificante. A extração do amido das sementes foi realizada com água. O método de *casting* foi empregado para a produção de todos os filmes, com temperatura de secagem de 40 °C por 24 h. Com base nas análises realizadas neste trabalho, foi possível concluir que os bioplásticos produzidos não apresentaram diferenças significativas em suas estruturas físicas e químicas, como observado na análise de FTIR, na qual todos os filmes apresentaram os mesmos grupos funcionais, e por MEV percebeu-se que as superfícies dos filmes exibiram morfologias similares.

Palavras-chave: biomassa, polímeros naturais, glicerol.

For several decades, petroleum-derived plastics have been widely used in the industry and commerce due to their flexible characteristics and affordable cost. However, growing environmental awareness has revealed issues such as the slow degradation of these plastics and the resulting pollution from improper disposal. The search for biodegradable alternatives has gained prominence, promoting the adoption of plastics derived from renewable sources capable of naturally decomposing. In this context, starch stands out as a promising source for biodegradable plastics, thanks to its renewable origin, biodegradation capacity, and economic versatility. The challenge of creating films solely from starch, due to its lack of malleability and fragility, requires the addition of additives in polymeric matrices. The inclusion of plasticizers is essential to overcome rigidity, improving the mechanical properties of the films. In this context, this study aims to produce films using starch from jackfruit, mango, and avocado seeds, with glycerol as the plasticizer. Starch extraction from the seeds was carried out with water. The casting method was employed for the production of all films, with a drying temperature of 40 °C for 24 hours. Based on the analyses conducted in this work, it was possible to conclude that the produced bioplastics did not show significant differences in their physical and chemical structures, as observed in the FTIR analysis, where all films exhibited the same functional groups. The SEM analysis revealed that the film surfaces exhibited similar morphologies.

Keywords: biomass, natural polymers, glycerol.

## 1. INTRODUÇÃO

Há alguns anos, a consciência em relação ao meio ambiente tem crescido, visto que os materiais poliméricos convencionais exibem uma degradação natural excessivamente lenta, sendo que alguns deles exigem mais de um século para completa decomposição, como por exemplo, as sacolas plásticas. Esse fenômeno pode ser justificado pelo fato de que tais materiais, em geral, apresentam resistência perante ataques microbianos, radiações, calor, água e oxidação atmosférica. Além disso, devido à sua fonte não renovável, surgem diversos resíduos provenientes do descarte dos plásticos sintéticos e, em geral, a reciclagem consome quantidades consideráveis de energia térmica [1].

Diante disso, a busca por alternativas visando à mitigação dos efeitos decorrentes dos polímeros sintéticos tem sido objeto de estudo por parte de pesquisadores, com o propósito de conceber filmes biodegradáveis ou comestíveis mediante a utilização de diversos biopolímeros como substitutos dos polímeros de base petroquímica [2]. Os bioplásticos são preparados a partir de biopolímeros extraídos diretamente de biomassa, com ou sem modificação, como amido, celulose e proteínas. Dentre estes, o amido tem se destacado por ser de baixo custo e facilmente disponível [3].

Os plásticos compostos à base de amido podem ser empregados na produção de objetos descartáveis, como sacolas para resíduos, recipientes para plantas, coberturas temporárias para mudas, utensílios de cozinha, pratos, entre outros. Adicionalmente, eles demonstram um vasto potencial para serem incorporados em matrizes de liberação controlada de fármacos e pesticidas [4]. A utilização de fontes não convencionais de amido é atualmente foco na pesquisa de filmes biodegradáveis [5, 6]. Dessa forma, fontes advindas de biomassas com baixo valor agregado podem ser uma alternativa, podendo destacar as sementes de jaca, manga e abacate.

A jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) é amplamente encontrada em regiões tropicais e subtropicais. As sementes da jaca representam 8-15% do peso do fruto e podem apresentar até 500 sementes em um único fruto e são bastante ricas em amido, possuindo o alto teor de amilose (24-32%) [3, 6, 7]. Já a manga (*Mangifera indica* L.), uma fruta amplamente consumida em várias regiões tropicais, gera quantidades consideráveis de resíduos anualmente, com até 35% a 60% desses resíduos consistindo de sementes e cascas. As sementes de manga contêm cerca de 58% de amido em base seca, tornando-as uma fonte significativa de amido para a produção de filmes biodegradáveis [5]. Enquanto isso, o abacate (*Persea americana* Mill) é uma espécie nativa do México e da América Central sendo a casca e a semente os subprodutos que geralmente são descartados, representando 15% do peso total. Dependendo da variedade do abacate, as sementes podem apresentar entre 27,5% a 29,6% de amido, sendo uma fonte de amido não convencional, ao contrário de opções como, milho, batata, trigo, arroz e mandioca, que são mundialmente reconhecidos como amidos tradicionais ou convencionais [1, 8].

Apesar das fontes não convencionais para extração de amido e seu uso como matéria-prima para a produção de bioplásticos, os filmes de amido enfrentam desafios de sensibilidade à água, alta permeabilidade ao vapor de água e inadequadas propriedades mecânicas. Para superar essas limitações, a adição de plastificantes tem se mostrado eficaz, uma vez que reduzem interações intermoleculares por meio do acoplamento entre as cadeias poliméricas, aumentando a flexibilidade e melhorando propriedades como a temperatura de transição vítrea e a resistência dos filmes de amido, tornando os filmes mais adequados para diversas aplicações e beneficiando as propriedades do bioplástico [2, 3, 5].

Dessa forma, o desenvolvimento de alternativas mais eficientes para bioplásticos de amido está diretamente alinhado com os princípios da sustentabilidade, que buscam minimizar impactos ambientais e otimizar o uso de recursos naturais, garantindo assim que resíduos sejam reutilizados para produção de novos produtos ao invés de serem descartados no meio ambiente. Neste contexto, o presente trabalho também vai de encontro com o ODS 12 que pretende assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis. Esses padrões provocam a redução da pegada ecológica dos sistemas antrópicos. São dois sistemas distintos, mas altamente interativos. Os sistemas de produção são os ambientes industriais que transformam os recursos naturais em produtos. Os sistemas de consumo são os ambientes comerciais nos quais os produtos são

adquiridos, utilizados e consumidos, implicando na geração de resíduos. Assim, o ODS 12 visa a eficiência na transformação dos recursos e no consumo dos produtos [9].

De acordo com o IGBE em 2017 o Brasil produziu 4.113 mil frutos de jaca [10], enquanto a produção em 2023 de abacate correspondeu a 422.545 toneladas e de manga 1.758.118 toneladas [11]. Em 2023 o município de Areia Branca, Sergipe, foi reconhecido como a "Capital Sergipana da Jaca e da Jaqueira" pela Lei Estadual 9.326/2023, com safra principal entre fevereiro e maio. No Estado de Sergipe, a produção de manga em 2023 correspondeu a 13.968 toneladas [11], sendo os municípios de Neópolis, Santana de São Francisco e Propriá com maior destaque na produção. Já o abacate, de acordo com o censo de 2017, apresentou uma baixa produção em comparação as duas outras culturas, correspondendo a 32 toneladas [12]. Embora menos expressivo, o clima favorável e técnicas agrícolas modernas garantem a oferta dessa fruta ao longo do ano, tendo colheita que coincide com a da jaca e da manga. Diante disto o objetivo do trabalho foi preparar e caracterizar bioplásticos a partir de fontes não convencionais de amidos, como, o amido da semente de jaca e dos caroços de abacate e manga, a fim de avaliar suas semelhanças.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Seleção e Preparação das Biomassas

As sementes foram coletadas em feiras livres de Aracaju e agroindústrias locais. Foram utilizadas três biomassas, sendo elas as sementes de manga, jaca e abacate. Após a coleta foi necessária a etapa de triagem para remoção de possíveis interferentes, limpeza e secagem em estufa a temperatura de 60 °C até atingirem umidade inferior a 10%.

### 2.2 Extração do Amido

Para extração do amido das diferentes biomassas (sementes de jaca, manga e abacate) [13], foi realizado o método de extração em meio aquoso, utilizando água como solvente, no qual as biomassas selecionadas foram trituradas individualmente em liquidificador industrial à temperatura ambiente a fim de obter uma mistura líquida viscosa. A mistura obtida foi filtrada utilizando um pano de algodão e o filtrado foi deixado em repouso a 25 °C por 2 h, para separação da parte sólida. O material decantado foi lavado três vezes com água e depois três vezes com 100 mL de etanol 99%. Em seguida foi centrifugado a 2500 rpm por 5 minutos por seis vezes até ocorrer a eliminação da camada superior de mucilagem e ressuspensão com água até completa remoção de toda mucilagem, logo após, o amido foi seco em estufa à 35°C por 24 h [13, 14]. Para verificar a obtenção do amido, foi realizado o teste de lugol com solução de 2% de iodo.

### 2.3 Preparação do bioplástico

O bioplástico foi preparado pelo método de *casting* [1], no qual misturou-se 1g de amido em 20 mL de água destilada e glicerol na proporção de 1:1 em relação a massa do amido. A suspensão preparada foi aquecida a 75 °C em banho-maria por 5 min, sob agitação mecânica com o auxílio de uma barra magnética. No caso do amido de abacate, foi necessária temperatura em torno de 90°C, a alta temperatura de gelatinização do amido de abacate, comparada aos outros amidos, sugere um maior grau de associação entre os componentes moleculares, especialmente a amilose [15].

Após completa homogeneização da mistura, a solução foi espalhada em uma placa de Petri de 100 x 15 mm, e o processo de secagem do filme ocorreu na estufa de circulação a 60°C por 24 h, conforme representado na Figura 1.

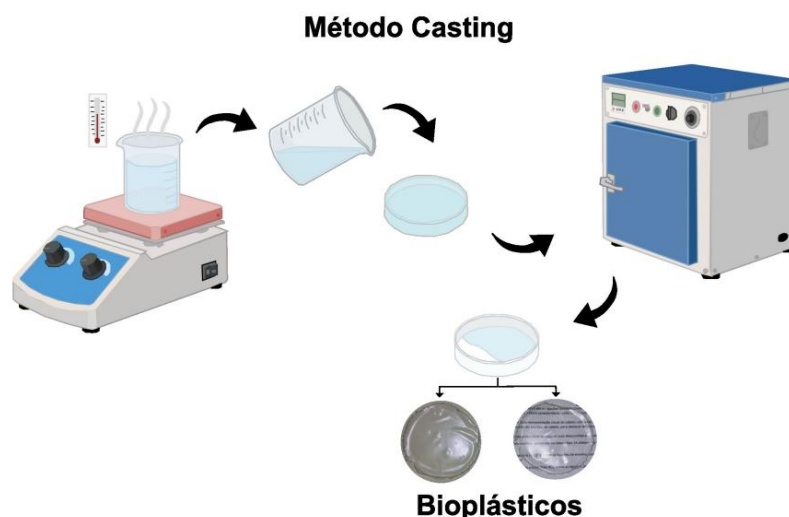


Figura 1: Sequência de etapas envolvidas na formação do filme de amido de semente de jaca, manga e abacate pelo método “casting”.

## 2.4 Caracterização dos amidos

### 2.4.1 Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros de FTIR para os amidos foram obtidos usando **espectrômetro FTIR Varian 640-IR**. Os espectros foram registrados na faixa de  $4000\text{ cm}^{-1}$  a  $400\text{ cm}^{-1}$  com 64 varreduras. A análise foi realizada com pastilha de KBr.

### 2.4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A análise morfológica foi realizada por Microscopia de Varredura (MEV) usando o HITACHI, Modelo: TM 3000, tensão 15 kV. As amostras, antes de serem analisadas, foram fixadas nos *stubs* com fita de carbono dupla face, revestidas com prata para melhor visualização das superfícies. As amostras foram analisadas na magnitude de 1000 vezes o seu tamanho original.

### 2.4.3 Análise Termogravimétrica (TG)

As curvas termogravimétricas foram obtidas em equipamento da marca Shimadzu, modelo TG-50A. A amostra foi submetida a uma programação controlada de temperatura na faixa de  $30\text{ °C}$  a  $1000\text{ °C}$  em uma porta amostra de platina, taxa de aquecimento de  $10\text{ °C}\cdot\text{min}^{-1}$ , gás inerte ( $\text{N}_2$ ) com vazão  $100\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$  e massa de amostra de aproximadamente 5 mg.

## 2.5 Caracterização dos bioplásticos

### 2.5.1 Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros de FTIR para os bioplásticos foram obtidos usando um espectrômetro da marca PerkinElmer modelo Spectrum two. Os espectros foram registrados na faixa de  $4000\text{ cm}^{-1}$  a  $400\text{ cm}^{-1}$  com 32 varreduras. A análise foi realizada com pastilha de KBr.

### 2.5.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A análise morfológica foi realizada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) usando o TESCAN Modelo: VEGA LMS, tensão 10 kV. As amostras, antes de serem analisadas, foram fixadas nos *stubs* com fita de carbono dupla face, com a face do bioplástico que ficou em contato com o ar posicionada para cima e, em seguida, revestidas com prata para melhor visualização das superfícies. As amostras foram analisadas nas magnitudes de 1000 e 3000 vezes o seu tamanho original.

### 2.5.3 Análise Termogravimétrica (TG)

As análises termogravimétricas foram realizadas em um analisador termogravimétrico da marca Thermal Analysis modelo System STA7200RV (Hitachi, Japão), com a variação de temperatura de 30 °C a 1000 °C e taxa de aquecimento de 10 °C·min<sup>-1</sup>, sob atmosfera inerte de gás nitrogênio, vazão de 50 mL·min<sup>-1</sup>. Para realizar a análise foi utilizado cadinho de platina com aproximadamente 4,4 mg de amostra.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Extração do amido

Os resultados obtidos durante o processo de extração do amido das biomassas mostraram que o caroço de abacate tem uma maior oxidação em relação às outras sementes quando descascados, apresentando uma coloração avermelhada (Figura 2). Susilowati e Lestari (2019) [16] também observaram coloração mais escura para o amido extraído da semente de abacate e, de acordo com os autores, isso se deve a presença de compostos fenólicos que podem causar reações enzimáticas de escurecimento causadas pela atividade da enzima polifenoloxidase, que, com a ajuda do oxigênio, converte o grupo monofenol em o-hidroxifenol, e posteriormente transformando-o em o-quinona, dando origem a cor marrom. No entanto, foi possível reduzir o tom avermelhado após sucessivas lavagens com água deionizada, seguidas de centrifugação. Esse processo de remoção da coloração avermelhada foi realizado exclusivamente para melhorar a estética do bioplástico.



Figura 2: Esquema de representação do processo de obtenção do amido.

### 3.2 Caracterização dos amidos

#### 3.2.1 Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

A análise dos amidos das sementes por FTIR (Figura 3) destacou os grupos funcionais presentes nas estruturas dos amidos. Nos espectros apresentados, o alargamento da onda em  $\sim 3300\text{ cm}^{-1}$ , indica vibrações do grupo OH [17, 18]. O pico observado em  $\sim 2900\text{ cm}^{-1}$  é atribuído a vibração de alongamento do CH [19]. Em  $1640\text{ cm}^{-1}$  pequenos picos formaram-se, indicando a presença de grupos carbonila CO conjugado [20]. As vibrações observadas em  $\sim 1300\text{ cm}^{-1}$  foram atribuídas à deformação ou flexão das ligações de CH [21]. Entre  $1080\text{ cm}^{-1}$  a  $1120\text{ cm}^{-1}$  observou-se o estiramento do CO característico de amidos [21]. Os espectros de FTIR obtidos para os amidos extraídos das diferentes biomassas apresentaram alta similaridade, sem a presença de bandas adicionais. Isso indica a pureza dos amidos analisados e confirma a ausência de contaminação, evidenciando que o processo de extração não introduziu componentes indesejados.

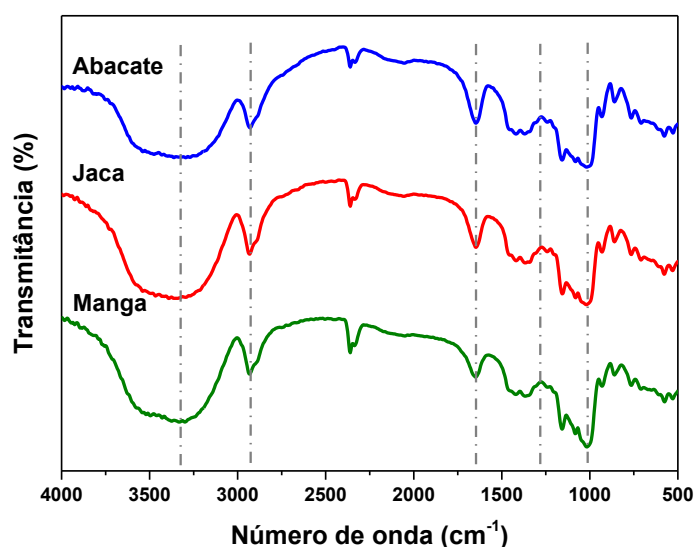


Figura 3: Espectros de FTIR para os filmes de amido das sementes de abacate, jaca e manga.

#### 3.2.3. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Normalmente, os grânulos de amido possuem formas cilíndricas e ovais com superfícies lisas. Os grânulos de amido da semente de abacate (Figura 4A) apresentam uma forma oval e uma superfície lisa, características que podem ser atribuídas à sua origem vegetal assim como apresentam um anel de crescimento na extremidade, algo incomum em amidos convencionais como os de milho, arroz, batata e trigo [20]. Os grânulos de amido da jaca (Figura 4B) exibem uma geometria poliédrica ou poligonal, com superfícies lisas e sem rachaduras. Alguns grânulos têm formato arredondado, enquanto outros são irregulares, apresentando cortes na superfície, características típicas do amido extraído das sementes de jaca [14], formas similares foram observadas por Almeida et al., em que os grânulos de amido exibiram formatos arredondados e poliédricos, apresentando-se fortemente aglomerados [22]. Já os grânulos de semente de manga (Figura 4C) apresentam formas variadas, incluindo oval, alongada e irregular, todas caracterizadas por uma textura de superfície lisa [23].

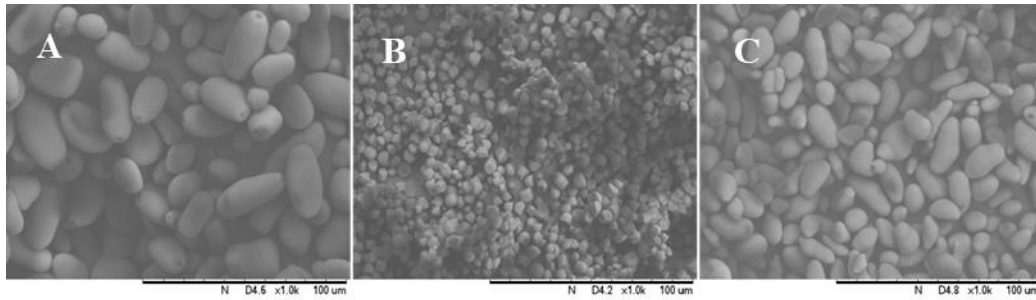


Figura 4: Microscopia do amido da semente de abacate (A), jaca (B) e manga (C), no aumento de 1000x.

#### 3.2.4. Análise Termogravimétrica (TG)

O perfil da análise termogravimétrica é apresentado na Figura 5, destacando três etapas no processo de perda de peso. Na faixa de temperatura de 35 °C a 200 °C ocorreu a primeira perda de massa referente a matéria adsorvida física, substâncias voláteis e água ligada por hidrogênio foram vistas no amido. A segunda perda de massa ocorreu entre 200 °C e 480 °C, onde a curva TG mostra que ocorreu a maior deterioração do amido. A água é gerada como subproduto dos processos de desidratação intra e intermolecular, resultando na degradação do amido [24]. A terceira perda de massa observada entre 500 °C e 900 °C, resultante da decomposição de monômeros e na geração de cinzas.

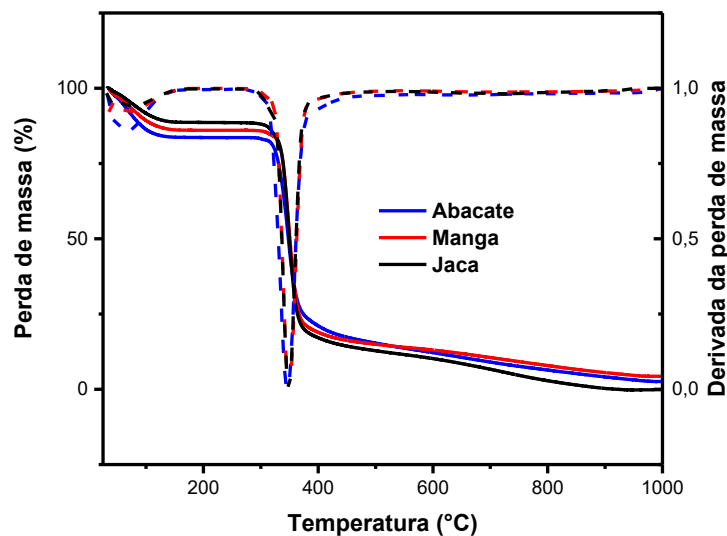


Figura 5: Curva termogravimétrica dos amidos de abacate, manga e jaca.

### 3.3 Preparação dos bioplásticos

Os bioplásticos foram elaborados de acordo com a metodologia supracitada no Item 2.3, no qual pode-se perceber, de acordo com a Figura 6, que os filmes apresentaram formação com matriz coesa, contínua, homogênea, sem formação de bolhas ou fissuras quando observados a olho nu.



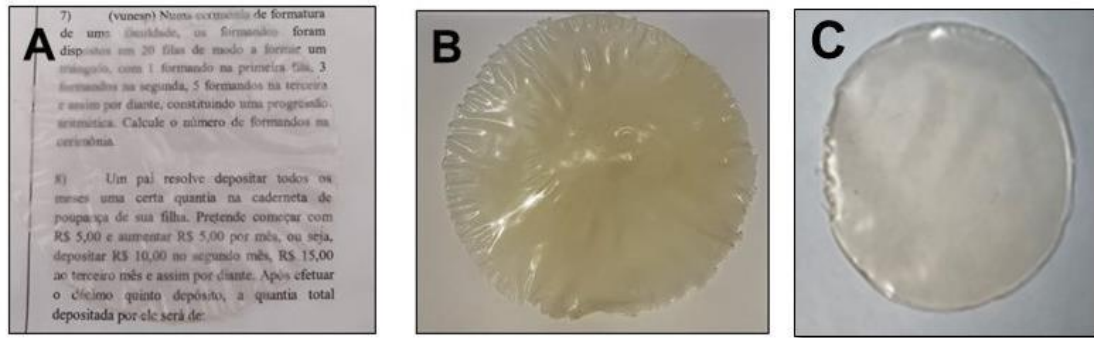


Figura 6: Bioplásticos de semente de jaca (A), amêndoa de semente de manga (B) e semente do caroço de abacate (C).

### 3.3.1. Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A Figura 7 apresenta os espectros de infravermelho dos filmes de abacate, jaca e manga. A análise dos bioplásticos de amidos das sementes por FTIR teve como finalidade destacar os grupos funcionais presentes nas estruturas dos bioplásticos ou identificar compostos específicos em suas composições químicas. Foram observados alongamentos de grupos  $\text{-OH}$  associado às bandas vibracionais entre  $3600$  e  $3300\text{ cm}^{-1}$ , alongamento de grupos  $\text{-CH}$  em  $2940 - 2879\text{ cm}^{-1}$ , a banda em aproximadamente  $1647\text{ cm}^{-1}$  correspondente à vibração de estiramento de grupos  $\text{-OH}$  de moléculas de água presentes na região não cristalina do amido, torção dos grupos  $\text{-CH}_2$  em  $1465 - 1430\text{ cm}^{-1}$ . Bandas na região do espectro entre  $1082 - 1070\text{ cm}^{-1}$  associadas a vibrações assimétricas  $\text{C-O-C}$  e  $926\text{ cm}^{-1}$  e  $810\text{ cm}^{-1}$  correspondente às vibrações simétricas  $\text{C-O-C}$ , um típico alongamento característico em amidos [25, 26]. A presença do glicerol como plastificante não apresentou modificações nos espectros dos bioplásticos, podendo ser justificado pela semelhança dos grupos funcionais do glicerol e do amido, como relatado na literatura [27, 28]. Dessa forma, como esperado, não foram observadas diferenças nos espectros dos bioplásticos preparados, o que reforça o uso dessas fontes não convencionais de amido [26].

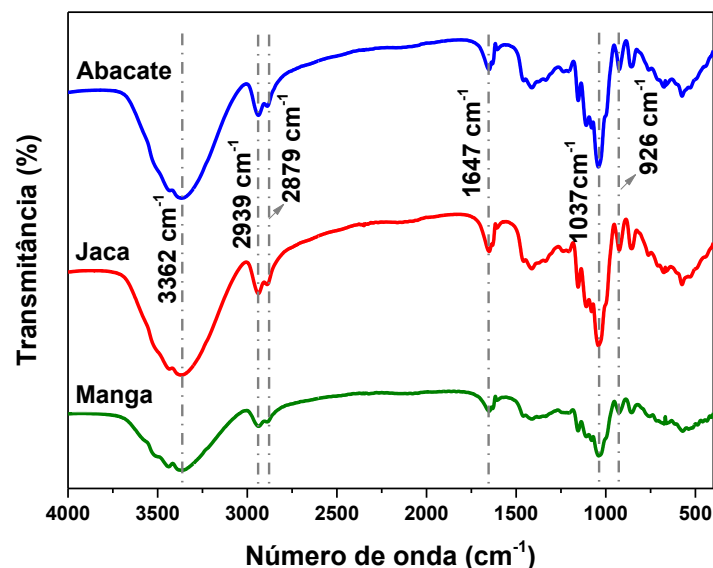


Figura 7: Espectros de FTIR para os filmes de amido das sementes de abacate, jaca e manga.



### 3.3.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Para avaliar as características morfológicas dos bioplásticos preparados foi realizada a MEV. Nas Figuras 8, 9 e 10 encontram-se as micrografias para os filmes de amido extraído de semente de jaca, manga e abacate, respectivamente.

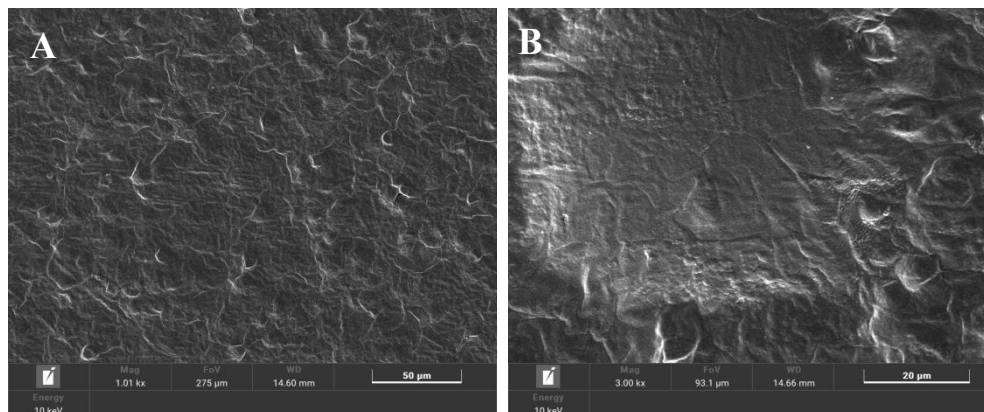


Figura 8: Microscopia do filme de amido da semente de jaca nos aumentos de 1000x (A) e 3000x (B).

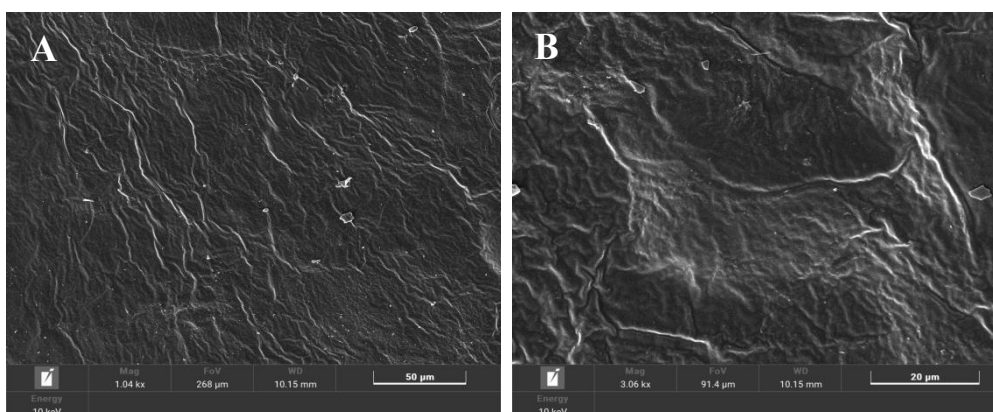


Figura 9: Microscopia do filme de amido de amêndoa de semente de manga nos aumentos de 1000x (A) e 3000x (B).

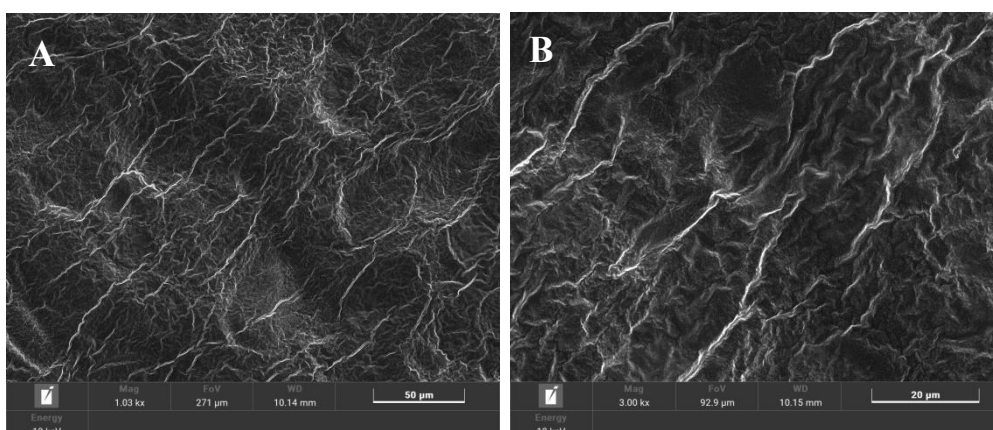


Figura 10: Microscopia do filme de amido de semente do caroço de abacate nos aumentos de 1000x (A) e 3000x (B).

Filmes produzidos através do método *casting* exibem diferentes formas de secagem, resultando em características morfológicas distintas entre suas duas faces. A parte superior, em contato com o ar de secagem, possui uma superfície homogênea e brilhante, com uma estrutura lisa e sem características definidas. Enquanto isso, a parte inferior, em contato com uma placa de Petri, apresenta uma superfície opaca e uma distribuição irregular, com depósitos globulares na estrutura [6]. Os depósitos globulares presentes nos filmes produzidos pelo método *casting* podem ser explicados como uma possível hipótese: eles podem consistir em microbolhas incrustadas na matriz do filme ou nos espaços previamente ocupados pelo glicerol antes da etapa de secagem [29].

Em geral os filmes obtidos dos amidos de jaca, manga e abacate tiveram as mesmas características morfológicas, como observado nos aumentos: 1000 x (A) e 3000 x (B). As micrografias dos bioplásticos das sementes de jaca (Figura 8A) e abacate (Figura 10A) em baixa magnificação apresentam superfície lisa com pouca porosidade, enquanto que para o bioplástico da semente de manga (Figura 9A), no mesmo aumento, apresentou pequenas partículas dispersas na superfície, podendo ser justificado pelo fato de que o amido não foi completamente gelatinizado durante o processo de formação do filme. Como relatado por Santana et al., isto pode ocorrer devido à dissolução do amido ser incompleta, uma vez que as frações ricas em amilopectina podem permanecer insolúveis e intactas [3]. O amido pode conter em torno de 70% de amilopectina [30], o que contribui para a incompleta solubilidade do amido, resultando em partes insolúveis no bioplástico, resultado semelhante foi encontrado no trabalho de Santana et al. (2018) [4]. Além disso, de acordo com Santos et al. (2016) [31], em seu trabalho com produção de bioplástico a partir de amido de abacate, o glicerol como plastificante, promove o aumento da hidrofiliabilidade do material. Esse aumento favorece a coalescência, resultando na expansão das dimensões do bioplástico.

A presença de pequenas irregularidades na superfície dos bioplásticos foram observadas com o aumento das micrografias, mas de modo geral os bioplásticos apresentaram uma superfície lisa com pouca rugosidade e alguns glóbulos que podem ser algum componente da solução filmogênica como o amido ou até mesmo o glicerol que pode não ter sido bem solubilizado.

### 3.3.3 Análise Termogravimétrica

Para os três bioplásticos analisados (Figura 11) o primeiro evento entre 25 °C e 100 °C, aproximadamente, está relacionado à evaporação de compostos voláteis de baixo peso molecular e de moléculas de água fisissorvidas [32]. Neste evento, a perda de massa correspondeu a 23,09%, 26,70% e 24,34% para os bioplásticos de semente de jaca, manga e abacate, respectivamente. Entre 100 °C e 250 °C ocorre o segundo evento observado para os filmes de semente de jaca (33,65%) e manga (31,75%), e entre 100 °C e 210 °C para o filme de abacate (28,66%), o qual corresponde à etapa de decomposição do glicerol e das ligações glicosídicas, evidenciando a presença do plastificante nos bioplásticos [25, 28]. O evento de maior perda de massa, correspondendo a 40,62%, 38,1% e 32,68% para os filmes de jaca, manga e abacate, respectivamente, foi observado entre 260 °C e 400 °C e, pode ser atribuído a degradação de componentes mais complexos e de alto peso molecular, como fibras e polissacarídeos complexos.

Para o filme de semente de abacate, um pequeno evento entre 212 °C e 270 °C com perda de massa de 9,68% foi observado e pode corresponder à degradação de frações proteicas interagidas de maior tamanho [31]. Além disso, como também não foi observado no amido de abacate puro, esse comportamento pode estar associado a interações específicas entre os componentes do biofilme, resultando na formação de estruturas com estabilidade térmica diferenciada. A interação entre o amido de abacate e o glicerol pode levar a formação de novas ligações intermoleculares ou a degradação controlada de componentes presentes na matriz polimérica plastificada. E como dito anteriormente, compostos residuais provenientes do caroço do abacate, como lipídios ou proteínas, podem não ter sido completamente eliminados no processo de extração e preparação dos bioplásticos, contribuindo para a observação desse novo evento térmico. Outra hipótese é que o evento esteja relacionado a um processo de degradação térmica secundária do plastificante

(glicerol) na matriz do amido de abacate, possivelmente influenciado por diferenças na estrutura e na composição química desse amido em relação aos demais.

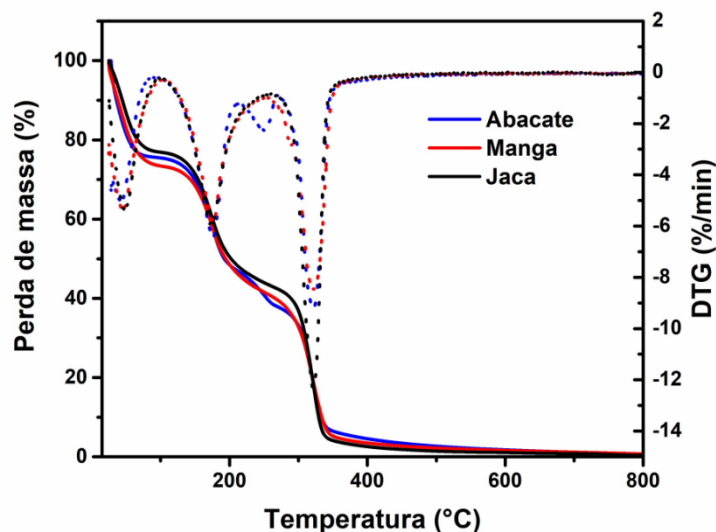


Figura 11: Curva de termogravimetria dos filmes de amido de abacate, manga e jaca.

#### 4. CONCLUSÃO

Os resultados das análises revelaram similaridades nas características químicas e estruturais dos filmes produzidos a partir de diferentes fontes de amidos de resíduos agroindustriais locais, nomeadamente as sementes de jaca, manga e abacate. Isso sugere que a abordagem de produção de bioplásticos a partir desses amidos é consistente e pode ser aplicada a diversas fontes de matéria-prima não convencional.

Além disso, a obtenção de bioplásticos a partir de resíduos agroindustriais locais é altamente promissora em termos de sustentabilidade, uma vez que não apenas reduz o desperdício, mas também diminui a dependência de fontes não renováveis de plástico convencional. A utilização dessas sementes anteriormente consideradas como resíduos destaca a importância de valorizar subprodutos da indústria alimentícia e agrícola.

Esses avanços podem ter implicações significativas tanto para a indústria de embalagens, quanto para setores que utilizam plásticos em suas operações diárias. A viabilidade de produzir filmes bioplásticos com características similares abre caminho para a potencial substituição de plásticos tradicionais por alternativas mais ecológicas e renováveis.

Portanto, o trabalho realizado representa um passo significativo em direção à produção de bioplásticos a partir de fontes renováveis e locais, demonstrando a possibilidade de aproveitar os resíduos agroindustriais para criar materiais mais sustentáveis. No entanto, mais estudos e avaliações são necessários para validar completamente a viabilidade e os benefícios desses bioplásticos em relação aos plásticos convencionais.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. de Freitas ASM, Rodrigues JS, Maciel CC, Pires AAF, Lemes AP, Ferreira M, et al. Improvements in thermal and mechanical properties of composites based on thermoplastic starch and Kraft Lignin. *Int J Biol Macromol.* 2021;184:863-73. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2021.06.153
2. Surendren A, Mohanty AK, Liuc Q, Misra M. A review of biodegradable thermoplastic starches, their blends and composites: recent developments and opportunities for single-use plastic packaging alternatives. *Green Chem.* 2022;24(22):8606-36. doi: 10.1039/D2GC02169B
3. Silva ML, Silva WJS, Pereira AKLS. Aproveitamento de resíduos vegetais como alternativa na fabricação de embalagens biodegradáveis. *Brazilian J Dev.* 2020;6(11):86238-50. doi: 10.34117/bjdv6n11-155

4. Santana RF, Bonomo RCF, Gandolfi ORR, Rodrigues LB, Santos LS, Pires ACS, et al. Characterization of starch-based bioplastics from jackfruit seed plasticized with glycerol. *J Food Sci Technol*. 2018;55(1):278-86. doi: 10.1007/s13197-017-2936-6
5. Nawab A, Alam F, Haq MA, Lutfi Z, Hasnain A. Mango kernel starch-gum composite films: Physical, mechanical and barrier properties. *Int J Biol Macromol*. 2017;98:826-76. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.02.054
6. Andrade PF, Oliveira DER, da Silva AS, Faro BB, Rocha DJ, da Silva EN, et al. Preparação e caracterização de membranas biodegradáveis a partir da semente de jaca. *Rev Feira Ciências e Cult*. 2019;6(12):9-12.
7. Zhang Y, Li B, Xu F, He S, Zhang Y, Sun L, et al. Jackfruit starch: Composition, structure, functional properties, modifications and applications. *Trends Food Sci Technol*. 2021;107:268-83. doi: 10.1016/j.tifs.2020.10.041
8. Jiménez R, Sandoval-Flores G, Alvarado-Reyna S, Alemán-Castillo SE, Santiago-Adame R, Velázquez G. Extraction of starch from Hass avocado seeds for the preparation of biofilms. *Food Sci Technol*. 2022;42. doi: 10.1590/fst.56820
9. Office LA, Rodrigues TO, Gerhardt J, Brasil MCTI, Brasil ME. ROADMAP ODS 12: Uma rota para a sustentabilidade; Programa das Nações Unidas para o meio ambiente [Internet]; 2021 [acesso em 24 mar 2025]. Disponível em: <https://www.gov.br/ibict/pt-br/central-de-conteudos/noticias/2022/maio-2022/RoadmapODS12umarotaparaasustentabilidade.pdf>
10. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Produção de jaca [Internet]; 2017 [acesso em 24 mar 2025]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/jaca/br>
11. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Produção agropecuária [Internet]; 2023 [acesso em 24 mar 2025]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/>
12. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Censo Agropecuário [Internet]; 2017 [acesso em 24 mar 2025]. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/se/pesquisa/24/7693>
13. Andrade PF, Daltro KF, Barbosa ES, dos Santos ISS. Preparação e caracterização de membranas biodegradáveis a partir da semente de jaca, manga e abacate. *Rev Feira Ciências e Cult*. 2023;8(18):46-50.
14. Oliveira SFS, Rocha APT, Araújo TJ. Amido de sementes de manga: Obtenção, propriedades e aplicações. *Braz J Food Technol*. 2023;26:1-8. doi: 10.1590/1981-6723.29719a
15. Chel-Guerrero L, Barbosa-Martín E, Martínez-Antonio A, González-Mondragón E, Betancur-Ancona D. Some physicochemical and rheological properties of starch isolated from avocado seeds. *Int J Biol Macromol*. 2016;86:302-8. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2016.01.052
16. Susilowati E, Lestari AE. Preparation of chitosan-avocado seed starch (CASS) edible film as jenang dodol packaging. *AIP Conference Proceedings*. 2019;2194(1):020123. doi: 10.1063/1.5139855
17. Manzoor A, Ahmad S, Yousuf B. Development and characterization of edible films based on flaxseed gum incorporated with *Piper* betle extract. *Int J Biol Macromol*. 2023;245:125562. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.125562
18. Bodana V, Swer TL, Kumar N, Singh A, Samtiya M, Sari TP, et al. Development and characterization of pomegranate peel extract-functionalized jackfruit seed starch-based edible films and coatings for prolonging the shelf life of white grapes. *Int J Biol Macromol*. 2024;254:127234. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.127234
19. Lubis M, Harahap MB, Ginting MHS, Sartika M, Azmi H. Production of bioplastic from avocado seed starch reinforced with microcrystalline cellulose from sugar palm fibers. *J Eng Sci Technol*. 2018;13(2):381-93.
20. Salazar-Irrazabal MD, Ramirez-Tixe EE, Velasquez-Barreto FF, Bello-Pérez LA. Avocado seed starch: Effect of the variety on molecular, physicochemical, and digestibility characteristics. *Int J Biol Macromol*. 2023;247:125746. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.125746
21. Kushwaha R, Singh V, Kaur S, Wani AA, Kaur D. Elucidating the impact of chemical modifications on the structure, and properties of jackfruit seed starch. *Food Biosci*. 2023;56:103097. doi: 10.1016/j.fbio.2023.103097
22. Almeida EC, Bora PS, Zárate NAH. Amido Nativo e Modificado de Taro (*Colocasia esculenta* L. Schott): Caracterização química, morfológica e propriedades de pasta. *Bol Cent Pesqui Process Aliment*. 2013;31(1):67-82. doi: 10.5380/cep.v31i1.32703
23. Singh GP, Bangar SP, Aayush K, Yang T, Verma R, Kuca K, et al. Value addition of mango kernel for development and characterization of starch with starch nanoparticles for packaging applications. *Int J Biol Macromol*. 2024;274:133185. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2024.133185
24. Majamo SL, Amibo TA. Study on extraction and characterization of anchote (*Coccinia abyssinica*) starch and reinforced enset (*Ensete ventricosum*) fiber for the production of reinforced bioplastic film. *Heliyon*. 2024;10(1):e23098.

25. Nazri MSM, Tawakkal ISMA, Khairuddin N, Talib RA, Othman SH. Characterization of jackfruit straw-based films: effect of starch and plasticizer contents. *Pertanika J Sci Technol*. 2019;27(S1):1-14.
26. Ginting MHS, Hasibuan R, Lubis M, Alanjani F, Winoto FA, Siregar RC. Utilization of avocado seeds as bioplastic films filler chitosan and ethylene glycol plasticizer. *Asian J Chem*. 2018;30(7):1569-73. doi: 10.14233/ajchem.2018.21254
27. Abotbina W, Sapuan SM, Sultan MTH, Alkbir MFM, Ilyas RA. Development and characterization of cornstarch-based bioplastics packaging film using a combination of different plasticizers. *Polymers (Basel)*. 2021;13(20):3487. doi: 10.3390/polym13203487
28. Tarique J, Sapuan SM, Khalina A. Effect of glycerol plasticizer loading on the physical, mechanical, thermal, and barrier properties of arrowroot (*Maranta arundinacea*) starch biopolymers. *Sci Rep*. 2021;11:13900. doi: 10.1038/s41598-021-93094-y
29. Júnior SDO, de Araújo JS, de Asevedo EA, de Medeiros FGM, dos Santos VS, Júnior FCS, et al. Exploiting films based on pectin extracted from yellow mombin (*Spondias mombin* L.) peel for active food packaging. *Biomass Convers Biorefinery*. 2023;13:1565-79. doi: 10.1007/s13399-021-01321-3
30. Debet MR, Gildley MJ. Why do gelatinized starch granules not dissolve completely? Roles for amylose, protein, and lipid in granule “ghost” integrity. *J Agric Food Chem*. 2007;55(12):4752-60. doi: 10.1021/jf070004o
31. Santos CDM, Pagno CH, Costa TMH, Faccin DJL, Flôres SH, Cardozo NSM. Biobased polymer films from avocado oil extraction residue: Production and characterization. *J Appl Polym Sci*. 2016;133(37):43957. doi: 10.1002/app.43957
32. Merino D, Bertolacci L, Paul UC, Simonutti R, Athanassiou A. Avocado peels and seeds: Processing strategies for the development of highly antioxidant bioplastic films. *ACS Appl Mater Interfaces*. 2021;13(32):38688-99. doi: 10.1021/acsami.1c09433