4º Congresso Internacional sobre Materiais Plásticos Compostáveis e de Fonte Renovável

11 e 12 de junho de 2025

ID.BIO.5

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DA GOMA DO FRUTO DE *Hymenaea courbaril* COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL AOS POLÍMEROS CONVENCIONAIS

Renata Soares de Faria[1], Marcos Antonio Pereira-Júnior[2], Guilherme Liberato Alves[3], Kátia Flávia Fernandes[4]

[1]Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil, renata.faria@discente.ufg.br

[2]Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil, marcos.apjunior@gmail.com

[3]Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil, guilhermea47@gmail.com

[4]Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil, kfernandes.lqp@gmail.com

Resumo

Localizado no noroeste do Oceano Pacífico, o chamado "continente de plástico", ou "sétimo continente", consiste em um enorme acúmulo de resíduos plásticos flutuantes, cobrindo uma área estimada em milhões de quilômetros quadrados. Esse fenômeno evidencia a profunda dependência da indústria e do comércio em relação ao plástico, além da dificuldade de sua reciclagem, uma vez que apenas 9% do plástico global é efetivamente reciclado. Além do impacto ambiental, há também a questão de sua origem, já que o plástico deriva do petróleo, um recurso não renovável e em processo de escassez. Diante disso, a indústria tem se reposicionado para ampliar a produção de plásticos realmente biodegradáveis, feitos a partir de fontes renováveis e sustentáveis. Nesse contexto, as membranas poliméricas configuram-se como alternativas viáveis sob os aspectos econômico e ambiental, não apenas em função de sua biodegradabilidade, mas também por viabilizarem o uso sustentável de recursos vegetais, agregando valor à biomassa nativa e contribuindo para a mitigação do desmatamento. Biomateriais como amido, celulose, pectinas e quitosana vêm sendo amplamente utilizados na fabricação de plásticos. Mas apesar das inúmeras vantagens, esses polímeros apresentam algumas limitações tecnológicas e por isso a busca por novos polissacarídeos continua sendo um campo altamente promissor. Um bom exemplo é a *Hymenaea courbaril,* popularmente conhecido como jatobá, cuja madeira tem alto valor comercial, enquanto o fruto é negligenciado quanto ao seu potencial tecnológico. Por isso, neste trabalho investigou-se a viabilidade de se produzir um bioplástico à base da goma extraída da semente do fruto do jatobá, avaliando-se suas propriedades estruturais, mecânicas e ópticas. Para isso foram desenvolvidas 9 diferentes formulações, utilizando um planejamento fatorial 2^2, contendo o polissacarídeo do jatobá, com proporção variando entre 0,29% e 1,7%; glicerol 0,5%; e álcool polivinílico (PVA), variando entre 0,29% e 1,7%; e o efeito de cada componente foi avaliado quanto as propriedades físico-químicas e morfológicas dos materiais produzidos. Os bioplásticos apresentaram aspecto opaco e coloração levemente acastanhada, espessura variando de 0,147 a 0,339 mm; porcentagem de solubilidade variando entre 56,3 e 90,4% e valores de 10,2 a 22,8% de umidade. Os filmes também apresentaram resistência à tração variando 2,9 a 23,4 MPa, porcentagem de elongação

variando de 16,8 a 80,1% e módulo de Young variando de 7,2 a 142,5 MPa. Os dados obtidos indicam que os filmes desenvolvidos a partir do polissacarídeo extraído da semente de jatobá possuem elevado potencial como bioplástico biodegradável, aliando atributos de sustentabilidade ambiental e viabilidade econômica.

Palavras-chave: Biopolímeros, materiais biodegradáveis, goma de *Hymenaea courbaril*

1. INTRODUÇÃO

O plástico começou a ser produzido em 1950 e, com o aumento da demanda populacional, estima-se que até 2050 haverá 34 bilhões de toneladas dispersas em escala global [1]. Esses materiais tornam-se resíduos e são descartados em locais de escoamento de água, resultando em sua condução até o oceano [2]. Como consequência, entram nas correntes oceânicas e se acumulam. Um exemplo é o giro central do Pacífico Norte, uma região marcada por alta pressão atmosférica e correntes marítimas que giram no sentido horário, favorecendo a convergência de resíduos em sua área central [3], o que intensifica a poluição plástica no ambiente marinho. Estima-se que a Grande Mancha de Lixo no Pacífico, como mencionada na literatura, seja composta por pelo menos 79 mil toneladas de plástico e se estenda por uma área de 1,6 milhão de km^2 [4].

Os plásticos convencionais possuem baixa degradabilidade e podem levar centenas ou até milhares de anos para se decompor, causando uma poluição intensa e duradoura [5]. Além disso, podem se tornar prejudiciais aos seres vivos, uma vez que, se desintegram e se tornam microplásticos e nanoplásticos [6]. Nesse contexto, os impactos ambientais associados ao uso de materiais sintéticos têm impulsionado a demanda por alternativas biodegradáveis, constituídos por matérias-primas naturais, como o amido e a celulose [7]. Os bioplásticos têm recebido atenção devido possuírem propriedades renováveis, sustentáveis e menos impactantes ao meio ambiente [8].

Nesse sentido, o Brasil abriga uma rica diversidade botânica, compondo ampla distribuição de espécies nativas, como a *Hymenaea courbaril*, conhecida popularmente como Jatobá. Essa espécie pertence à família Fabaceae, subfamília *Caesalpinioideae,* e está presente em todo o território brasileiro, sendo frequentemente encontrada no bioma Cerrado. É amplamente utilizada em diferentes aplicações, desde o uso de extratos e compostos isolados até frações com atividade antibacteriana, antioxidante, anti-inflamatória e antimicrobiana. Considerado um polissacarídeo complexo, o xiloglucano desempenha além de função estrutural, um papel de armazenamento nas sementes dessa espécie. Ele possui notável propriedade de solubilidade em água, sendo considerado um polímero natural biodegradável utilizado na indústria alimentícia como agente espessante, estabilizante e encapsulante, o que evidencia seu grande potencial para aplicações biotecnológicas [9, 10, 11].

A produção de materiais biodegradáveis a partir dos polissacarídeos presentes nas sementes de jatobá representa uma estratégia inovadora e sustentável, que alia um fruto com potencial tecnológico à mitigação de impactos ambientais causados por plásticos convencionais. Diante disso, esse trabalho propõe investigar a produção e caracterização de filmes plásticos elaborados com a goma de *Hymenaea courbaril,* para aplicação como alternativa viável aos polímeros sintéticos.

2. OBJETIVO

Este trabalho visa produzir e caracterizar filmes biodegradáveis a partir dos polissacarídeos extraídos das sementes dos frutos de *Hymenaea courbaril*, uma espécie nativa do Cerrado muito promissora, avaliando a qualidade dos materiais obtidos e seus rendimentos

em consonância com as demandas de mercado, através da análise de propriedades físicas, mecânicas e estruturais.

3. MÉTODOS E MATERIAIS

3.1 Material

Os frutos de jatobá (*Hymenaea courbaril*) foram coletados em novembro de 2023, de árvores na zona rural da cidade de Goianésia-GO, Brasil (ponto de referência -15.260670, -49.111191). Todos os reagentes utilizados neste trabalho são de grau analítico e foram adquiridos da Dinâmica Contemporânea Ltda. (Itaiatuba, SP, Brasil).

3.2 Extração dos Polissacarídeos das Sementes de Jatobá (PSJ)

Os frutos de jatobá foram abertos com auxílio de um martelo e as sementes separadas da polpa manualmente. Após a retirada da polpa, as sementes foram lavadas com água destilada, secas a temperatura ambiente e armazenadas em sacos plásticos hermeticamente fechados até a realização do procedimento de extração. Devido ao pericarpo rígido das sementes de jatobá, foi necessário realizar a fragmentação das sementes e a imersão delas em água destilada a 4°C por 72 horas, visando o desprendimento do pericarpo do endocarpo da semente.

Para realização da extração dos polissacarídeos, foram utilizados 200 gramas de endocarpo da semente em 1 litro de água destilada. Em seguida, realizou-se a trituração utilizando liquidificador em rotação máxima por 10 min. O endocarpo triturado foi passado em peneira para retirada dos fragmentos maiores e em seguida filtrado em nylon. A fração retida foi submetida ao procedimento de reextração sendo triturada, peneirada e filtrada nas mesmas condições anteriores. O filtrado foi precipitado na proporção 1:1 em álcool etílico absoluto e o precipitado formado foi centrifugado a 11.000 rpm, 25ºC por 10 min. O polissacarídeo obtido foi seco em estufa de circulação forçada de ar com temperatura de 35ºC, por 20 horas, triturado, filtrada em nylon (500 µm), e armazenado a temperatura ambiente (25ºC) em sacos plásticos hermeticamente fechados para posterior utilização.

3.3 Produção dos bioplásticos

As matrizes dos bioplásticos foram produzidas por reação de reticulação por oxidação dos polímeros álcool polivinílico (PVA) e polissacarídeos da semente do Jatobá (PSJ). A fim de avaliar o efeito dos componentes da formulação nas propriedades físicas, químicas e mecânicas dos filmes de PVA/PSJ, foi realizado um planejamento fatorial $2^{(2)}$, cujos valores dos fatores e seus níveis estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Planejamento fatorial fracionado $2^{(2)}$ para produção dos filmes.

Formulações	PSJ (% m/v)	PVA(% m/v)
F1	0,5	0,5
F2	0,5	1,5
F3	1,5	0,5
F4	1,5	1,5

Os filmes foram produzidos através da técnica de "casting" conforme descrito por [12]. As soluções filmogênicas foram preparadas mediante a dispersão em água do PVA seguido da dispersão do polissacarídeo do Jatobá, ambos à temperatura de 80ºC, sob agitação constante nas proporções indicadas na Tabela 1. Ao atingir completa solubilização, a temperatura foi reduzida para 25°C e adicionou-se 5% de H_2O_2, permanecendo em agitação por 20 minutos. Em seguida, 10% de H_3PO_4 foi adicionado, mantendo a agitação por 20 minutos. Após o tempo de reação, 0,5 % de glicerol foi adicionado e a solução filmogênica foi mantida sob agitação por mais 20 minutos. A solução resultante foi depositada em moldes de acrílico na proporção de 1,0 mL/cm^2 e mantidas a temperatura ambiente (25ºC) durante 8 dias para completa polimerização. Após foram removidos dos moldes e armazenados em sacos plásticos hermeticamente fechados para posterior caracterização.

3.4 Espessura

A espessura dos bioplásticos do polissacarídeo da semente de *H. courbaril* foi determinada conforme descrito por [13], utilizando um micrômetro digital (Mitutoyo Corp., Tóquio, Japão) com precisão de 0,001 mm. Os bioplásticos foram submetidos a cinco medições aleatórias realizadas na seção transversal dos filmes.

3.5 Solubilidade

Para determinar a solubilidade dos filmes em água, seguiu-se a metodologia descrita por [12], com modificações na temperatura de secagem dos filmes e no número de ciclos de solubilização. Primeiramente, foram cortados três quadrados de cada filme seco com 1 cm², os quais foram mantidos em estufa (FANEM, São Paulo – Brasil) a 60ºC por 24 horas. Após, determinou-se a massa seca inicial. Em seguida os quadrados foram imersos em 25 mL de água destilada (± 25ºC) e mantidos sob agitação constante em mesa agitadora orbital (QUIMIS, Brasil) a 100 rpm por 24 h. Após este período, cada solução foi filtrada em papel filtro previamente pesado e o material retido foi seco em estufa a 60ºC por 24 h e aferido o peso (BALANÇA KERN 410, Brasil). As análises foram realizadas em triplicata e a solubilidade do filme foi expressa em porcentagem de massa solubilizada em relação à massa inicial de acordo com a equação (1):

$$Solubilidade\ (\%) = \left(\frac{Mi - Mf}{Mi}\right) x\ 100 \qquad (1)$$

Onde, *Mi* é a massa seca inicial do filme, em g; e *Mf* é a massa seca final do filme, após o teste de solubilidade, em g.

3.6 Umidade

O teste de teor de umidade foi realizado segundo a metodologia de [14], com modificações. Inicialmente os filmes foram pesados e incubadas em estufa (FANEM, São Paulo, Brasil) a 80°C durante 24 horas. Após esse período as amostras foram novamente pesadas para determinação da perda de massa úmida. As análises foram realizadas em triplicata e a umidade do filme foi expressa em porcentagem de acordo com a equação (2):

$$Umidade\ (\%) = \left(\frac{Mi - Mf}{Mi}\right) x\ 100 \qquad (2)$$

Onde, Mi é a massa inicial do filme (g) e Mf é a massa seca final do filme (g), após secagem em estufa.

3.7 Propriedades mecânicas

A força de tração e as propriedades de alongamento do polissacarídeo da semente de *H.courbaril* produzidos foram determinadas em um texturômetro LLOYD (Modelo TA1), de coluna simples, utilizando célula de carga de 50 N e garras de apreensão. Os filmes tiveram suas dimensões padronizadas em 20 x 50 mm e o teste foi realizado de acordo com a norma ASTM D-638M-93 (1993) com modificações. Antes da análise, as amostras tiveram sua espessura determinada (5 pontos aleatórios) e as tiras foram armazenadas a 30% de umidade relativa (UR) por 24 h (25 °C). Os testes foram conduzidos utilizando uma velocidade de separação 0,8 mm/s e uma separação inicial da grade de 10 mm.

3.8 Medição da Transmissão de Luz

As medições da transmissão de luz foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por [12]. Tiras dos bioplásticos com 4,5 cm² foram analisadas em um espectrofotômetro UV-Vis (KASVI K37-UV/VIS), na faixa de comprimento de onda de 350 a 800 nm, com incrementos de 5 nm. A média dos valores de transmitância na região do visível foi utilizada como resultado.

4. RESULTADOS

4.1 Produção dos bioplásticos

Os bioplásticos produzidos apresentaram aspecto opaco e coloração e levemente acastanhada, conforme apresentado na Figura 1. O polissacarídeo da semente do jatobá apresenta coloração castanho e sua presença influencia a cor do filme. No processo de secagem dos filmes, as amostras foram acondicionadas em temperatura ambiente de ± 25°C e umidade de ± 30%. A secagem ocorreu de maneira uniforme, sem aparecimento de bolhas ou falhas na estrutura, com tempo médio de polimerização e secagem de 8 dias. Após secagem, foram removidos dos moldes e não apresentaram imperfeições superficiais, rupturas ou fraturas, possuindo ótima maleabilidade e flexibilidade. As formulações F1 e F2 apresentaram menos resistência ao serem manuseadas, enquanto a F3 e F4 apresentaram mais resistência.

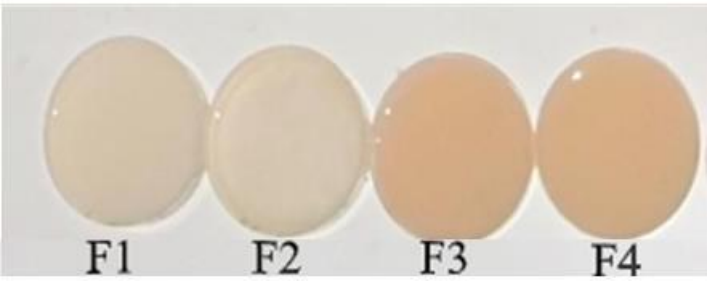

Figura 1. Fotos dos bioplásticos PVA/PSJ

4.2 Espessura

Para a condução do experimento, manteve-se constante a proporção entre volume e área em todas as formulações avaliadas. Na tabela 2 estão apresentados os valores obtidos nas medidas de espessura dos filmes produzidos.

Tabela 2. Propriedades dos filmes de PVA/PSJ

Formulações	Espessura (mm)	Umidade (%)	Solubilidade (%)	Transmitância (%)
F1	0,147 ± 0,008	22,8 ± 1,5	90,44 ± 1,19	58,76 ± 13,48
F2	0,246 ± 0,016	18,4 ± 2,0	63,87 ± 1,70	68,03 ± 15,40
F3	0,201 ± 0,004	15,4 ± 3,3	78,12 ± 2,79	36,31 ± 15,61
F4	0,317 ± 0,026	10,2 ± 0,2	58,32 ± 0,73	27,83 ± 12,60

A espessura dos filmes variou de 0,147 ± 0,008 mm (F1) a 0,317 ± 0,026 mm (F4), demonstrando uma tendência de aumento associada à elevação das concentrações de ambos os polímeros, PVA e PSJ. De modo geral, formulações com maiores teores desses componentes apresentaram espessuras mais elevadas, com destaque para F4 (1,5% PVA e 1,5% PSJ), que exibiu a maior espessura. Esse comportamento pode ser atribuído à maior carga de sólidos na matriz filmogênica, o que resulta em soluções mais viscosas e, consequentemente, em filmes mais espessos após a secagem. Além disso, a presença simultânea de PVA e PSJ em concentrações elevadas pode favorecer a formação de uma rede polimérica mais estruturada e densa.

4.3 Solubilidade

A solubilidade dos filmes em meio aquoso variou significativamente em função das concentrações dos polímeros PVA e PSJ utilizados nas formulações (Tabela 2). Os resultados obtidos indicam que a composição dos filmes influencia diretamente a estabilidade da matriz polimérica frente à água.

A formulação F1, contendo baixas concentrações de PSJ e PVA (0,5% cada), apresentou o maior índice de solubilidade (90,44 ± 1,19%), refletindo uma rede polimérica pouco coesa e altamente suscetível à hidrólise. Por outro lado, o aumento isolado da concentração de PVA na formulação F2 (1,5% PVA e 0,5% PSJ) promoveu uma expressiva redução da solubilidade (63,87 ± 1,70%), sugerindo que o PVA exerce papel fundamental na formação de ligações intermoleculares que conferem maior coesão e resistência à matriz.

A formulação F3, com aumento apenas do PSJ (1,5% PSJ e 0,5% PVA), também apresentou redução na solubilidade (78,12 ± 2,79%), embora em menor grau que F2, indicando que o PSJ contribui para a estabilidade da matriz, mas com menor impacto que o PVA quando utilizado isoladamente. Já a formulação F4, que combinou elevadas concentrações de ambos os polímeros (1,5% cada), resultou na menor solubilidade entre todas as amostras (58,32 ± 0,73%). Esse comportamento evidencia um efeito sinérgico entre PSJ e PVA, favorecendo a formação de uma rede polimérica mais densa e estável, menos suscetível à interação com o meio aquoso.

Portanto, os dados indicam que a redução da solubilidade dos filmes está associada tanto à presença de PVA quanto à interação conjunta entre PVA e PSJ, sendo essa última a que proporciona maior estabilidade hidrolítica da matriz polimérica.

4.4 Umidade

Os valores de umidade apresentaram uma redução consistente com o aumento da concentração de PSJ. A formulação F1 (0,5% PSJ) apresentou a maior umidade (22,8 ± 1,5%), enquanto F4 (1,5% PSJ) apresentou o menor valor (10,2 ± 0,2%). Isso indica que o PSJ desempenha papel determinante na modulação da capacidade de retenção hídrica da matriz, provavelmente devido à formação de interações mais fortes entre as cadeias poliméricas, que dificultam a difusão e retenção de água. O PVA parece contribuir menos para o controle da umidade, como evidenciado pela comparação entre F2 (18,4 ± 2,0%) e F3 (15,4 ± 3,3%), nas quais o teor de PVA é elevado apenas em F2, mas a umidade é superior, quando comparado à formulação com a concentração maior de PSJ (F3).

4.5 Propriedades mecânicas

A análise das propriedades mecânicas dos filmes revela o impacto das proporções de PVA e PSJ sobre a elongação, força tênsil e módulo de Young, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Propriedades Mecânicas dos bioplásticos

Formulações	Porcentagem de Elongação (%)	Força Tênsil (mPA)	Módulo Young (mPA)
F1	34,2 ± 5,1	2,9 ± 0,1	16,2 ± 0,2
F2	70,9 ± 2,3	12,5 ± 1,2	35,0 ± 5,7
F3	80,1 ± 9,9	17,3 ± 2,9	58,1 ± 2,0
F4	16,8 ± 0,5	11,8 ± 0,2	142,5 ± 15,1

A porcentagem de elongação, que expressa a capacidade de deformação antes da ruptura, apresentou variação significativa entre as formulações. O maior valor foi observado em F3 (80,1 ± 9,9%), composta por 1,5% de PSJ e 0,5% de PVA, o que evidencia o papel do PSJ na promoção da flexibilidade da matriz polimérica devido a estrutura tridimensinal do polímero. Em contraste, F4 (1,5% de ambos os polímeros) exibiu a menor elongação (16,8 ± 0,5%), indicando que a presença concomitante de altas concentrações de PSJ pode limitar a mobilidade das cadeias, conferindo maior rigidez ao material.

Quanto à força tênsil, que representa a resistência à ruptura sob tensão, os valores também aumentaram com a concentração de PSJ. A formulação F3 apresentou a maior força (17,3 ± 2,9 MPa), seguida por F2 (12,5 ± 1,2 MPa) e F4 (11,8 ± 0,2 MPa). Esse comportamento reforça o papel do PSJ na coesão da matriz e no fortalecimento das interações intermoleculares. A menor resistência foi registrada em F1 (2,9 ± 0,1 MPa), cuja composição com baixos teores de ambos os polímeros resultou em uma matriz menos estruturada.

O módulo de Young, indicador da rigidez do material, revelou a influência direta das concentrações combinadas de PVA e PSJ. A formulação F4 apresentou o maior valor (142,5 ± 15,1 MPa), caracterizando-se como o filme mais rígido e, possivelmente, mais quebradiço. F3 e F2 apresentaram rigidez intermediária (58,1 ± 2,0 e 35,0 ± 5,7 MPa, respectivamente), enquanto F1 manteve o menor valor (16,2 ± 0,2 MPa), refletindo uma matriz menos densa e mais maleável.

De forma geral, os dados sugerem que o PVA atua como principal modulador das

propriedades mecânicas dos filmes, aumentando a resistência e a elasticidade da matriz. Por outro lado, o PSJ, embora contribua para a integridade estrutural em concentrações moderadas, quando presente em excesso pode aumentar excessivamente a rigidez e comprometer a flexibilidade. A formulação F3, com alta concentração de PSJ e baixo teor de PVA, demonstrou o melhor equilíbrio entre resistência e deformabilidade, configurando-se como a mais promissora para aplicações que demandam materiais flexíveis e mecanicamente estáveis.

4.6 Medição da Transmissão de Luz

A transmitância dos filmes, parâmetro associado à transparência óptica e à passagem de luz visível pela matriz polimérica, apresentou variações expressivas entre as formulações, refletindo o impacto direto das concentrações de PVA e PSJ na microestrutura do material.

A formulação F2 apresentou a maior transmitância (68,03%), seguida por F1 (58,78%). Ambas possuem a mesma concentração de PSJ (0,5%), sendo a diferença entre elas atribuída ao maior teor de PVA em F2 (1,5%). Esse resultado sugere que o aumento da concentração de PVA, em um contexto de baixo teor de PSJ, não compromete significativamente a transparência, podendo inclusive favorecer uma organização polimérica mais homogênea e menos dispersiva à luz.

Por outro lado, as formulações com maior concentração de PSJ (F3 e F4) apresentaram os menores valores de transmitância, com 36,31% e 27,83%, respectivamente. Esse comportamento pode estar relacionado à maior densificação da rede polimérica promovida pelo PSJ, que aumenta a dispersão e a absorção da luz, reduzindo sua passagem. Além disso, a presença simultânea de altos teores de PVA e PSJ em F4 parece intensificar esse efeito, resultando na menor transparência entre todas as formulações.

Esses dados indicam que a transparência dos filmes é inversamente proporcional à concentração de PSJ, e que o PVA, embora afete essa propriedade, exerce influência mais sutil quando comparado ao PSJ. Assim, para aplicações em que a transparência óptica seja desejável, como embalagens biodegradáveis com apelo visual, formulações com baixo teor de PSJ, como F1 e F2, se mostram mais adequadas. Em contrapartida, formulações como F4, mais opacas, podem ser mais indicadas para aplicações em que a barreira à luz seja um diferencial tecnológico desejado.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram que a variação nas concentrações de PVA e PSJ exerce influência significativa sobre as propriedades físico-mecânicas, estruturais e ópticas dos filmes produzidos. Formulações com maior teor de PSJ, especialmente quando combinado com baixos teores de PVA (como F3), resultaram em filmes com elevada resistência mecânica, maior alongamento e rigidez moderada, características desejáveis para aplicações que exigem integridade estrutural e flexibilidade. Em contrapartida, a formulação F4, com alta concentração de ambos os polímeros, apresentou rigidez excessiva e baixa elongação, evidenciando que o excesso de PSJ pode comprometer a deformabilidade do material. No que se refere à transmitância, observou-se que o aumento da concentração de PSJ reduz significativamente a transparência dos filmes, tornando-os mais opacos, o que pode ser vantajoso em aplicações que demandem barreira à luz. Assim, a formulação F3 se destaca como a mais promissora para o desenvolvimento de bioplásticos com desempenho equilibrado, enquanto F1 e F2 podem ser exploradas para fins em que a transparência e a menor rigidez sejam preferenciais. Esses dados reforçam o potencial técnico das formulações estudadas e fornecem subsídios importantes para a seleção e otimização de composições conforme a aplicação-alvo.

Agradecimento

Agradecemos às agências de financiamento, à Universidade Federal de Goiás (UFG) por fornecer a estrutura e apoio para a realização da pesquisa, ao Laboratório de Química de Polímeros (LQP), e a toda equipe de desenvolvimento.

Financiamento

Este trabalho foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) e do Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq).

6. REFERÊNCIAS

[1] J. McGlade, I. Samy Fahim, D. Green, P. Landrigan, A. Andrady, M. Costa, R. Geyer, R. Gomes, A. Tan Shau Hwai, J. Jambeck, D. Li, C. Rochman, P. Ryan, M. Thiel, R. Thompson, K. Townsend, A. Turra, "From Pollution to Solution: a global assessment of marine litter and plastic pollution", 2021, *United Nations Environment Programme*.

[2] J.R. Jambeck, R. Geyer, C. Wilcox, T.R. Siegler, M. Perryman, A. Andrady, R. Narayan, K.L. Law, "Plastic waste inputs from land into the ocean", 2015, *Science* 347, 768–771.

[3] C.J. Moore, S.L. Moore, S.L. Leecaster, S.B. Weisberg, "A comparison of plastic and plankton in the North Pacific Central Gyre", 2001, *Marine Pollution Bulletin* 42, 1297–1300.

[4] L. Lebreton, B. Slat, F. Ferrari, B. Sainte-Rose, J. Aitken, J. Marthouse, S. Hajbane, S. Cunsolo, A. Schwarz, A. Levivier, K. Nobre, P. Debeljak, H. Maral, R. Schoeneich-Argent, R. Brambini, J. Reisser, "Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic", 2018, *Scientific Reports* 8, 4666.

[5] M. Ghasemlou, C.J. Barrow, B. Adhikari, "The future of bioplastics in food packaging: An industrial perspective", 2024 *Food Packag. Shelf Life* 43, 101279. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2024.101279

[6] M. Cucina, "The lesser of two evils: Enhancing biodegradable bioplastics use to fight plastic pollution requires policy makers interventions in Europe", 2023 *Environ. Impact Assess. Rev.* 103, 107230. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107230

[7] S. Sinha, "Biopolymer-Derived Superabsorbent for Environmental Sustainability: A Review", 2025 *In: A.B. Gueye, S. Thomas, N. Kalarikkal, M. Fall (Eds.), Bio-based polymers and composites: properties, durability, and applications*, First edition, AAP, Apple Academic Press, Palm Bay, FL, USA. https://doi.org/10.1201/9781032669243

[8] D. Xie, R. Zhang, C. Zhang, S. Yang, Z. Xu, Y. Song, "A novel, robust mechanical strength, and naturally degradable double crosslinking starch-based bioplastics for practical applications", 2023 *Int. J. Biol. Macromol.* 253, 126959. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126959

[9] R.S.L. da Costa, D. Smangoszevski Martins, L.D.C. Peixoto, B.J.P. da Silva, L.B. Borges, E.S. Lima, H.H.F. Koolen, D.U.O. Menugetti, A.F.M. Pessoa, R.P.M. Silva, "Antioxidant effect of *Hymenaea courbaril* L (Jatobá) sap on the healing of wounds on mice", 2021 *J. Med. Plants Res.* 15(4), 160–171. https://doi.org/10.5897/JMPR2021.7091

[10] A.C.P.D. Menezes Filho, J.G.D. Oliveira Filho, C.F.D.S. Castro, "Avaliações antioxidante e antifúngica dos óleos essenciais de *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne e *Hymenaea courbaril* L.", 2020 *J. Biotechnol. Biodivers.* 8, 104–114. https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v8n2.menezes

[11] Farias, M.D.P., Albuquerque, P.B.S., Soares, P.A.G., De Sá, D.M.A.T., Vicente, A.A., Carneiro-da-Cunha, M.G., 2018. Xyloglucan from Hymenaea courbaril var. courbaril seeds as encapsulating agent of l-ascorbic acid. Int. J. Biol. Macromol. 107, 1559–1566. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.10.016

[12] F.E.F. Silva, K.A. Batista, M.C.B. di-Medeiros, C.N.S. Silva, B.R. Moreira, K.F. Fernandes, "A stimuli-responsive and bioactive film based on blended polyvinyl alcohol and cashew gum polysaccharide", 2016 *Mater. Sci. Eng. C* 58, 927–934.

[13] M.V. Cruz, M.A. Pereira-Júnior, K.A. Batista, K.F. Fernandes, "Use of statistical design strategies to produce biodegradable and eco-friendly films from cashew gum polysaccharide and polyvinyl alcohol", 2019 *Materials* 12, 1149. https://doi.org/10.3390/ma12071149

[14] M. Petersson, M. Standing, "Water vapor permeability and mechanical properties of mixed starch-monoglyceride films and effect of film forming conditions", 2005 *Food Hydrocolloid* 19(1), 123–132.

[15] ASTM, "Designation: D638M-93, standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting", 1993 *Annual Book of ASTM Standards*, ASTM, Philadelphia, PA, USA.