



4º Congresso Internacional sobre Materiais Plásticos Compostáveis e de Fonte Renovável
11 e 12 de junho de 2025

ID.BIO.6

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE BIOPLÁSTICO À
BASE DE AMIDO DA SEMENTE DE *Swartzia multijuga* Vogel COMO ALTERNATIVA
SUSTENTÁVEL AO USO DE PLÁSTICOS CONVENCIONAIS**

Guilherme Liberato Alves¹, Marcos Antônio Pereira-Júnior², Renata Soares de Faria³, Kátia Flávia Fernandes⁴

¹Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil, guilhermea47@gmail.com

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

³Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil, renata.faria@discente.ufg.br

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

Resumo

Estima-se que 90% de todo o lixo produzido no planeta seja composto por plásticos e com o aumento da demanda por delivery, intensificada após a pandemia, essa proporção tende a crescer. No setor alimentício, a situação se agrava pelo uso de embalagens multicamadas, que visam atender à exigência por alimentos frescos, e embora a maior parte do lixo doméstico seja formada por plásticos recicláveis, apenas 9% do plástico global chega as usinas de reciclagem. Diante desse panorama, o mercado tem intensificado a busca por soluções mais sustentáveis e as chamadas tecnologias verdes vêm promovendo o uso de polissacarídeos como matéria-prima atrativa para o desenvolvimento de materiais que sejam efetivamente biodegradáveis. Entre os biomateriais, o amido se destaca por ser uma fonte abundante, acessível, biodegradável, biocompatível e não-tóxica. No entanto, é essencial que essa fonte amilácea não concorra com a matriz alimentar e apresente alta produtividade, garantindo viabilidade econômica mesmo diante da crescente demanda por alimentos e suas variações de preço. Vale ressaltar que o amido pode apresentar propriedades distintas conforme sua origem vegetal, ampliando as possibilidades de produção de materiais com características únicas. Um exemplo é o amido da semente de *Swartzia multijuga* Vogel, conhecida popularmente como banha-de-galinha, cujo fruto não é explorado comercialmente e o seu grânulo de amido apresenta propriedades singulares que possibilitam sua aplicação em diferentes contextos tecnológicos. Neste estudo, investigou-se a viabilidade de se produzir um bioplástico à base desse amido, avaliando-se suas propriedades estruturais, mecânicas e ópticas. Para isso foram desenvolvidas 3 diferentes formulações contendo amido da semente de *Swartzia multijuga* Vogel (2,5%), glicerol (1,0%) e álcool polivinílico (PVA), variando entre 0,25% e 1,0%. Os bioplásticos produzidos apresentaram aspecto translúcido, espessura média de $0,154 \pm 0,021$ mm; porcentagem de transmitância variando entre 11,81 e 29,87% e média de $18,0 \pm 0,8\%$ de umidade. Os filmes também mostraram resistência e flexibilidade, apresentando resistência à tração variando 3,97 e 4,85 Mpa, e alongamento na ruptura variando de 35,61 a 61,50%. Esses resultados sugerem que os filmes produzidos com amido da semente de *Swartzia multijuga* Vogel apresenta potencial promissor como bioplástico efetivamente biodegradável, reunindo características de sustentabilidade ambiental e viabilidade econômica.

Palavras-chave: Bioplástico, amido, sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

Estima-se que 90% de todo o lixo produzido no planeta seja composto por plásticos e embora a maior parte do lixo doméstico seja formada por plásticos recicláveis, apenas 9% do plástico global chega as usinas e são realmente reciclados. Por isso, vários estudos têm sido conduzidos nos últimos anos utilizando polímeros extraídos de fontes vegetais como alternativa aos usualmente utilizados. Dentre esses, os amidos se apresentam como excelentes candidatos, uma vez que são seguros, acessíveis, de baixo custo, possuem atividades biológicas únicas atendem à demanda mundial por materiais chamados *Eco-friendly*, classificação que exige que o material seja biodegradável e produzido a partir de matéria-prima renovável, além das tradicionais propriedades biocompatíveis e bioestáveis, inerentes aos biomateriais [1]. Além disso, os amidos detêm uma ampla variedade de características, com potencial para aplicações industriais no campo da indústria de alimentos, na indústria farmacêutica e cosmética, na indústria de adesivos e colas, entre outros [2].

Vale mencionar ainda que o uso de amidos que não compõem a matriz alimentar é especialmente vantajoso a longo prazo, se alinhando aos objetivos sustentáveis propostos pela Organização das Nações Unidas, reduzindo a nossa dependência tecnológica internacional e garantindo viabilidade econômica mesmo diante da crescente demanda por alimentos e suas variações de preço [3]. E para além das questões ambientais, a compreensão de que as matérias-primas de origem fóssil estão próximas de se esgotarem completamente são um estímulo automático ao surgimento de novos materiais e fontes alternativas de produção [4].

Nesse contexto, o bioma Cerrado assume uma posição estratégica, abrangendo mais de 2 milhões de km² e abrigando uma notável diversidade de ambientes, paisagens e uma rica biodiversidade de fauna e flora [5,6]. Entre as espécies vegetais características desse bioma, destaca-se a *Swartzia multijuga* Vogel, popularmente conhecida como banha-de-galinha. Embora o fruto seja ocasionalmente consumido por comunidades locais, não há registros de sua exploração em escala comercial. Notavelmente, as sementes de *S. multijuga* contêm um amido cujos grânulos apresentam propriedades estruturais singulares, com potencial para aplicações tecnológicas diversificadas. Dentre essas, a produção de bioplásticos desponta como uma alternativa promissora, considerando-se tratar-se de um amido subutilizado, proveniente de um fruto que não integra a matriz alimentar e que apresenta características físico-químicas favoráveis à formação de filmes poliméricos.

2. OBJETIVOS

O objetivo desse estudo foi a produção de bioplásticos à base de amido de semente de *Swartzia multijuga* Vogel, a partir de três diferentes formulações filmogênicas, avaliando-se suas propriedades estruturais, mecânicas e ópticas.

3. MÉTODOS E MATERIAIS

3.1. Material

Os frutos de *Swartzia multijuga* foram coletados as margens da GO-438 no município de Goianésia-GO, Brasil (15°14'54.7"S 49°06'18.1"W). Ao todo foram coletados 436 frutos com total de 96,6 kg, que foram pesados, descascados, a semente removida manualmente, acondicionada em sacos de polietileno e mantidas congeladas até o uso. Todos os reagentes utilizados neste trabalho são de grau analítico e foram adquiridos da Dinâmica Contemporânea Ltda. (Itaiatuba, SP, Brasil).

3.2. Extração do amido da semente

As sementes de *S. multijuga* tiveram seu tegumento removido e o cotilédone da semente foi utilizado para a extração do amido. O material foi triturado em liquidificador convencional por 2 minutos na presença de uma solução de ácido cítrico 1% (p/v) na proporção de 3:10 (p/v). A suspensão obtida da trituração foi filtrada em nylon (32 mesh) para retenção de fibras existentes na semente, e em sequência deixada em repouso, em recipiente de polipropileno,

overnight a 4 °C. Após decantação do amido o sobrenadante foi escoado e o precipitado foi resuspenso em água destilada para lavagem. Esse procedimento foi repetido por cinco ciclos e ao final o amido foi seco a temperatura ambiente ($\pm 25^{\circ}\text{C}$) até peso constante e armazenado em sacos herméticos para uso posterior.

3.3. Produção dos bioplásticos

Os bioplásticos à base de amido de semente de *S. multijuga* foram produzidos conforme metodologia descrita por [7]. Para avaliar os efeitos das concentrações de polímero nas propriedades biotecnológicas dos filmes formados, foram desenvolvidas três formulações com quantidades diferentes de álcool polivinílico (PVA), conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1. Conteúdo de cada formulação de bioplástico de amido de *S. multijuga*.

Formulações	Amido (%)	Glicerol (%)	PVA (%)
F1	2,5%	1,0%	0,25%
F2	2,5%	1,0%	0,50%
F3	2,5%	1,0%	1,00%

Inicialmente, os polímeros (amido e PVA) foram solubilizados em 100 mL de água destilada e a mistura foi agitada a 80°C até a gelatinização do amido. Em seguida, a mistura foi resfriada em temperatura ambiente ($\pm 25^{\circ}\text{C}$) e foram adicionados 5 mL de peróxido de hidrogênio ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$), 10 mL de ácido fosfórico ($1,0 \text{ mol L}^{-1}$), e 1,0 mL de glicerol. A mistura foi homogeneizada sob agitação magnética até a formação de dispersões filmogênicas homogêneas. Por fim, as dispersões foram vertidas suavemente em moldes de acrílico na proporção de 1 mL/cm^2 e deixadas em repouso por 8 dias em estufa a 30°C , até a secagem. Os bioplásticos prontos foram removidos das placas e armazenados em sacos plásticos hermeticamente fechados, em temperatura ambiente ($\pm 25^{\circ}\text{C}$) para posterior caracterização.

3.4. Espessura

A espessura dos bioplásticos de amido da semente de *S. multijuga* foi determinada conforme descrito por [8], utilizando um micrômetro digital (Mitutoyo Corp., Tóquio, Japão) com precisão de 0,001 mm. Os bioplásticos foram submetidos a 10 medições aleatórias realizadas na seção transversal dos filmes.

3.5. Umidade

O teste de teor de umidade foi realizado segundo a metodologia de Petersson e Stading (2005), com modificações como segue. 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. A umidade do filme foi expressa em porcentagem de acordo com a equação (1):

$$Umidade (\%) = \left(\frac{M_i - M_f}{M_i} \right) \times 100 \quad (1)$$

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

3.6. Medida da Transmissão de Luz

As medidas da transmissão de luz foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por [7], onde tiras dos bioplásticos com 3 cm^2 foram analisadas em um espectrofotômetro UV-Vis (Espectrofotômetro KASVI K37-UV/VIS), na faixa de comprimento de onda de 350 a 800 nm, com incrementos de 5 nm.

3.7. Propriedades Mecânicas

A força de tração e as propriedades de alongamento dos filmes 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 (10 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. Análise estatística

Todos os testes foram realizados em triplicata com repetição. As análises foram feitas utilizando análise de variância (ANOVA), teste Tukey ($p < 0,05$). Os dados foram tabulados usando o programa Statistica 6.0 (Statsoft Inc., Tulsa, USA, 1997) e os resultados foram expressos com média e desvio padrão.

4. RESULTADOS

4.1. Produção dos bioplásticos

Os bioplásticos produzidos apresentaram aspecto translúcido, com pequenas rugosidades distribuídas pela superfície do material, conforme apresentado na Figura 1.

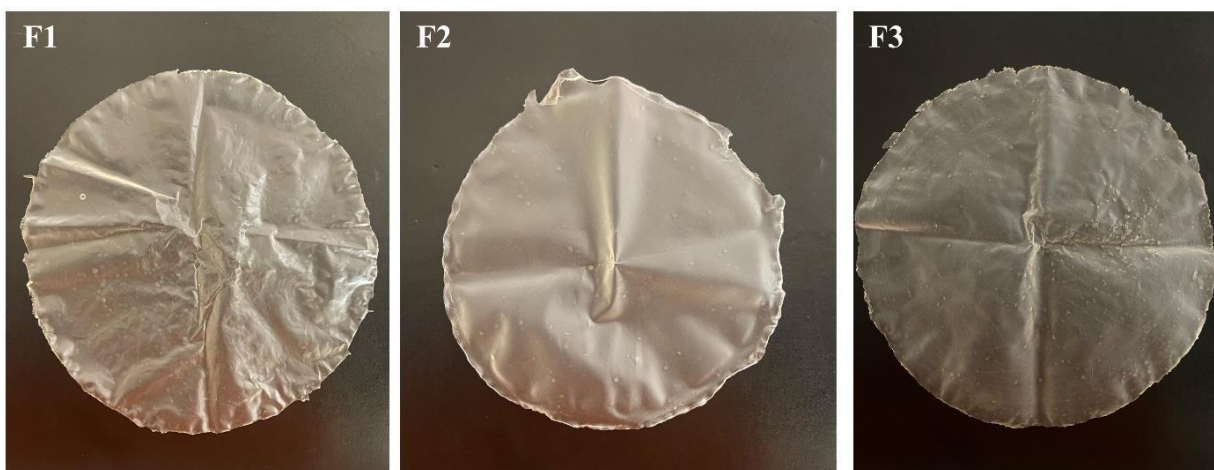


Figura 1. Fotos dos bioplásticos obtidos a partir do amido de semente de *S. multijuga*.

Esse aspecto heterogêneo é provavelmente devido às propriedades singulares do amido da semente de *S. multijuga*, utilizado na produção dos bioplásticos. O trabalho de caracterização desse amido, ainda pouco explorado, está sendo desenvolvido pelo nosso grupo de pesquisa e evidenciou propriedades singulares em termos de morfologia do grânulo, razão amilose/amilopectina, cristalinidade, solubilidade e propriedades térmicas (Dados não publicados). Essas singularidades exigem uma manipulação cuidadosa nos preparos de formulações contendo este polímero, sobretudo quando o escalonamento é desejável. Embora esteja claro que houve uma limitação em termos de homogeneização, os bioplásticos apresentaram boas características físico-químicas que corroboram o seu potencial de otimização, conforme será demonstrado.

4.2. Espessura

Espessura é um parâmetro de grande importância para a caracterização das propriedades mecânicas tanto de plásticos convencionais quanto de filmes à base de polissacarídeos. Pode

ser definida como a relação entre a área do molde e a razão volume/massa da solução filmogênica. Na Tabela 2 estão apresentados os resultados da caracterização das propriedades físicas dos bioplásticos produzidos e, como demonstrado, não houve diferença estatística quanto a espessura média entre as formulações.

Tabela 2. Caracterização de espessura, umidade e transmitância das 3 formulações de bioplásticos de amido de *S. multijuga*.

Formulações	Espessura (mm)	Umidade (%)	Transmitância (%)
F1	0,154 ± 0,033 ^a	19,3 ± 1,0 ^a	29,87 ± 1,26 ^a
F2	0,133 ± 0,015 ^a	17,2 ± 0,5 ^b	21,05 ± 1,13 ^b
F3	0,175 ± 0,029 ^a	17,5 ± 0,7 ^b	11,81 ± 0,80 ^c

* Letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa entre os resultados ($p < 0,05$).

Durante a produção, foi observado um mecanismo de polimerização com crescimento radial das cadeias, iniciando-se no núcleo da placa de acrílico e propagando-se em direção às extremidades, durante o processo de secagem dos bioplásticos. Esse comportamento resultou em uma diferença de espessura em diferentes pontos do mesmo filme, com altos valores de desvio padrão. Portanto, embora as concentrações de polímero tenham variado, não houve diferença estatística entre as espessuras das formulações.

4.3. Umidade

Os filmes apresentaram valores similares de umidade, sendo que as formulações 2 e 3 apresentaram umidades discretamente menores (Tabela 2). Esse resultado pode ser atribuído às maiores concentrações de PVA nas formulações F2 e F3, que favorecem a formação de uma rede polimérica mais compacta e coesa, o que atua como uma barreira à difusão de água e reduz a interação hidrofílica com as moléculas do meio. Tais dados evidenciam o papel do PVA na modulação do teor de umidade das formulações analisadas. Considerando que todos os biopolímeros foram armazenados sob condições ambientais controladas e que a concentração do plastificante permaneceu constante entre as formulações, a concentração de PVA revela-se um parâmetro crítico no processo de otimização dos bioplásticos, especialmente quando se visa adequar suas propriedades às exigências de aplicações específicas.

4.4. Medida da Transmissão de Luz

Os perfis regulares de transmissão de luz dos filmes de amido da semente de *S. multijuga* estão demonstrados na Figura 2 e os valores na Tabela 2. Como pode ser observado, os filmes apresentaram valores de transmissão de luz variando de 11,81% a 29,87% dependendo de sua composição. Esses resultados evidenciam a influência da concentração do PVA sobre as propriedades ópticas do bioplástico, provavelmente porque o polímero representa uma barreira física à passagem da luz, e o aumento de sua concentração na formulação do filme afeta negativamente a transmissão da luz.

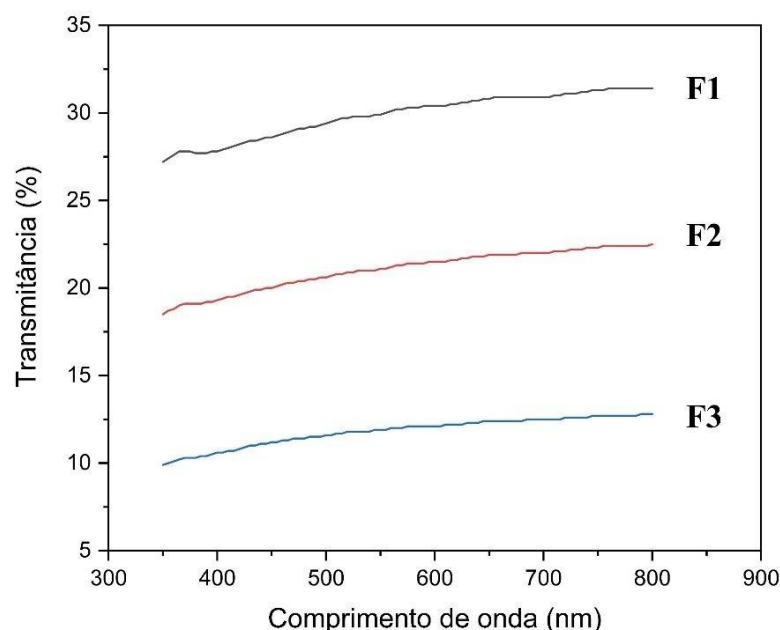


Figura 2. Espectrogramas de transmitância das três formulações de bioplástico produzidas. Varredura no espectro de luz visível.

Um material é classificado como transparente quando sua capacidade de transmitir luz supera significativamente sua absorção e reflexão. Materiais com essa característica desempenham um papel fundamental em diversas áreas econômicas, devido às suas propriedades ópticas [8,9]. No caso dos filmes elaborados a partir do amido extraído das sementes de *S. multijuga*, a presença de rugosidades na superfície do material prejudicou a análise por causar a dispersão da luz. No entanto, os índices de transmissão luminosa observados mostram que existe potencial de aplicação biotecnológica e a otimização das formulações poderia solucionar essa limitação. Essa transparência é particularmente vantajosa em contextos em que a visibilidade do produto é um requisito essencial para a comercialização, como ocorre em embalagens para alimentos ou cosméticos.

4.5. Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas dos filmes poliméricos são fundamentais para orientar sua aplicação em diferentes contextos. Tais propriedades dependem, em grande medida, das interações entre os constituintes do material, especialmente da formação de ligações moleculares fortes e/ou numerosas entre as cadeias poliméricas. Para uso prático, é essencial que os filmes apresentem um equilíbrio entre resistência mecânica e flexibilidade, a fim de facilitar o uso do material. Em determinadas aplicações, como curativos para ferimentos, uma boa capacidade de adesão e boas propriedades de barreira também se tornam propriedades desejáveis [10]. Os resultados das propriedades mecânicas dos filmes estão demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3. Propriedades Mecânicas dos bioplásticos

Formulações	Porcentagem de Elongação (%)	Força Tensil (mPA)	Módulo Young (mPA)
F1	35,61 ± 8,43 ^a	4,20 ± 0,23 ^{a,b}	45,78 ± 7,02 ^a
F2	57,29 ± 1,67 ^b	4,85 ± 0,60 ^a	32,15 ± 5,84 ^{a,b}
F3	61,50 ± 3,05 ^b	3,97 ± 0,12 ^b	27,22 ± 5,09 ^b

* Letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa entre os resultados ($p < 0,05$).

Como pode ser observado, o aumento da concentração de PVA aumenta a elasticidade do material. As formulações F2 e F3 apresentaram boa porcentagem de alongação (57,29% e 61,50%, respectivamente), com valores próximos de força tênsil e módulo Young reduzido, provavelmente devido a formação de múltiplos pontos de ligação covalente na rede, tornando o filme menos susceptível à ruptura.

Vale ressaltar que o módulo Young é uma propriedade mecânica fundamental que expressa a rigidez de um material, relacionando a tensão aplicada à deformação elástica resultante. No caso dos plásticos, esse parâmetro é essencial para compreender seu comportamento frente a esforços mecânicos, sendo decisivo na seleção de materiais para aplicações específicas. Plásticos com módulo de Young elevado apresentam maior rigidez, enquanto aqueles com valores mais baixos são mais flexíveis [11, 12]. Portanto, o resultado de módulo Young obtido nas formulações F2 e F3 (32,15 mPA e 27,22 mPA, respectivamente) corroboram os resultados anteriores e essas formulações revelam bom potencial para otimização e obtenção de bioplásticos resistentes e flexíveis, adequados para aplicações diversas que exigem um material maleável.

5. CONCLUSÕES

Neste estudo, o amido obtido nas sementes dos frutos de *Swartzia multijuga* Vogel foram utilizadas como matéria-prima para um novo bioplástico. As formulações propostas revelaram boas propriedades em termos de espessura e retenção de umidade. Embora os filmes obtidos tenham apresentado um aspecto heterogêneo com rugosidades, os resultados mostraram proporcionalidade direta entre a transmissão de luz e o conteúdo de polímero, o que pode ser controlado em formulações otimizadas conforme a aplicação desejada, como embalagens para produtos fotossensíveis, por exemplo. Além disso, a melhor compreensão das propriedades desse amido totalmente novo, com características físico-químicas singulares, possibilitará a produção mais precisa e adequada de bioplásticos no futuro, além de ressaltar a importância de investigar novas fontes de amido com propriedades diferenciadas. Por fim, os bioplásticos apresentaram boas propriedades mecânicas de resistência e flexibilidade, o que amplia bastante as possibilidades de aplicação desse material, incluindo diversas indústrias, como a alimentícia, farmacêutica e cosmética. Esses resultados sugerem que os filmes produzidos com amido da semente de *Swartzia multijuga* Vogel apresentam potencial promissor como bioplásticos efetivamente biodegradáveis, reunindo características de sustentabilidade ambiental e viabilidade econômica. As próximas etapas do trabalho serão dedicadas à otimização das formulações, por meio de um planejamento fatorial, e bioativação dos filmes com extratos contendo propriedades antioxidante e antimicrobiana.

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] B.R. Moreira, K.A. Batista, E.G. Castro, E.M. Lima, K.F. Fernandes, "A bioactive film based on cashew gum polysaccharide for wound dressing applications," *Carbohydrate Polymers*, vol. 122, pp. 69–76, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.12.067>
- [2] L.A. Sarubbo, G.M.D. Campos-Takaki, A.L.P. Figueiredo, E.B. Tambourgi, L.A. de Oliveira, "A goma do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) como sistema inovador de extração líquido-líquido," *Exacta*, vol. 5, 2008. <https://doi.org/10.5585/exacta.v5i1.1044>
- [3] A.L. das Chagas, L.P. de Oliveira, M.V. Cruz, R.M. de Melo, M.P. Miguel, K.F. Fernandes, L.B. de Menezes, "Polysaccharide-Based Membrane Biocompatibility Study of *Anacardium occidentale* L. and Polyvinyl Alcohol after Subcutaneous Implant in Rats," *Materials*, vol. 15, 1296, 2022. <https://doi.org/10.3390/ma15041296>
- [4] H.Y. Leong, C.-K. Chang, K.S. Khoo, K.W. Chew, S.R. Chia, J.W. Lim, J.-S. Chang, P.L. Show, "Waste biorefinery towards a sustainable circular bioeconomy: a solution to global issues," *Biotechnology for Biofuels*, vol. 14, 87, 2021. <https://doi.org/10.1186/s13068-021-01939-5> [5] J. Bonanomi, F.R. Tortato, R.D.S.R. Gomes, J.M. Penha, A.S. Bueno, C.A. Peres, "Protecting forests at the expense of native grasslands: Land-use policy encourages open-habitat loss in the Brazilian cerrado biome," *Perspectives in Ecology and Conservation*, vol. 17, pp. 26–31, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.12.002>
- [6] B.B. Strassburg, T. Brooks, R. Feltran-Barbieri, A. Iribarrem, R. Crouzeilles, R. Loyola, A.E. Latawiec, F.J.B. Oliveira Filho, C.A.M. Scaramuzza, F.R. Scarano, B. Soares-Filho, A. Balmford, "Moment of truth for the Cerrado hotspot," *Nature Ecology & Evolution*, vol. 1, no. 4, 0099, 2017. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>
- [7] 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," *Materials Science and Engineering C*, vol. 58, pp. 927–934, 2016.
- [8] 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," *Materials*, vol. 12, 1149, 2019. <https://doi.org/10.3390/ma12071149>
- [9] R.F. Luz, R.D.R. Ferreira, C.N.S. Silva, B.M. Miranda, R.H. Piccoli, M.S. Silva, L.C. Paula, M.I.G. Leles, K.F. Fernandes, M.V. Cruz, K.A. Batista, "Development of a Halochromic, Antimicrobial, and Antioxidant Starch-Based Film Containing Phenolic Extract from Jaboticaba Peel," *Foods*, vol. 12, 653, 2023. <https://doi.org/10.3390/foods12030653>
- [10] G.D. Mogoşanu, A.M. Grumezescu, "Natural and synthetic polymers for wounds and burns dressing," *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 463, pp. 127–136, 2014.
- [11] D.K. Chandra, A. Kumar, C. Mahapatra, "Advanced nano-enhanced bioplastics for smart food packaging: Enhancing functionalities and sustainability," *Clean. Circ. Bioeconomy*, vol. 10, 100140, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2025.100140>
- [12] R. Hessel, A.A. Freschi, E.C. Rosado, L.A. Barreiro, "Determinação do módulo de Young em sólidos a partir da medida da velocidade do som pelo método do tempo de voo," *Rev. Bras. Ensino Física*, vol. 38, 2016. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2015-0014>