

Influência da adição de óleo de pequi (*Caryocar brasiliense*) nas propriedades de filmes poliméricos a base de gelatina

Influence of Pequi oil (*Caryocar brasiliense*) addition on the properties of gelatin-based polymeric films

Cesar Vinicius Toniciolli Rigueto¹ , Matheus Henrique da Silva Gulate² , Marieli Rosseto¹ ,
Fernanda Machado de Oliveira³ , Raquel Aparecida Loss² , Sumaya Ferreira Guedes² ,
Claudineia Aparecida Queli Geraldi² , Aline Dettmer³ 

¹Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Santa Maria, RS, Brasil.

²Universidade Estadual de Mato Grosso, Faculdade de Arquitetura e Engenharia, Curso de Engenharia de Alimentos. Lucas do Rio Verde, MT, Brasil.

³Universidade de Passo Fundo, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Curso de Engenharia Química. Passo Fundo, RS, Brasil.

e-mail: cesartoniciolli@gmail.com, matheus.henrique.gulate@unemat.br, mmarielirossetto@gmail.com, feoliveirafer@gmail.com, raquelloss@unemat.br, sumaya.guedes@unemat.br, claudineia.geraldi@unemat.br, alinedettmer@upf.br

RESUMO

A gelatina tem sido estudada na elaboração de filmes biodegradáveis devido às suas propriedades formadoras de filme, além de sua transparência e flexibilidade. No entanto, sua alta solubilidade em água limita seu uso em ambientes de alta umidade. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar a influência da adição de óleo de pequi, em diferentes proporções, nas propriedades físicas, químicas e mecânicas de filmes poliméricos à base de gelatina. Os filmes foram produzidos por espalhamento em placa, contendo diferentes concentrações de óleo de pequi (0, 0,5% e 1% v/v). Posteriormente, foram caracterizados quanto à espessura, resistência à tração, alongamento, solubilidade em água e FTIR. De modo geral, verificou-se que a adição de óleo do pequi resultou no aumento da opacidade e na espessura (0,061 – 0,079 mm) dos filmes. Em contrapartida, observou-se a redução da resistência à tração (22,75 – 18,51 MPa) e da solubilidade dos filmes de 28,50% para 19,71% com a incorporação do óleo de pequi. No geral, visto que as concentrações de 0,5% e 1% reduziram a solubilidade e a resistência à tração em comparação aos filmes controle, porém, sem diferenças significativas ($p > 0,05$) entre si, conclui-se que a concentração de 0,5% foi a mais adequada.

Palavras-chave: Biopolímero; Solubilidade; Propriedades Mecânicas.

ABSTRACT

Gelatin has been studied for the development of biodegradable films due to its film-forming properties, as well as its transparency and flexibility. However, its high-water solubility limits its application in high-humidity environments. In this context, this study aimed to evaluate the influence of pequi oil addition, in different proportions, on the physical, chemical, and mechanical properties of gelatin-based polymeric films. The films were produced using the casting method, incorporating different concentrations of pequi oil (0, 0.5%, and 1% v/v). They were then characterized in terms of thickness, tensile strength, elongation, water solubility, and FTIR analysis. Overall, the addition of pequi oil increased the opacity and thickness (0.061–0.079 mm) of the films. Conversely, it reduced tensile strength (22.75 – 18.51 MPa) and water solubility from 28.50% to 19.71%. In general, since both 0.5% and 1% oil concentrations decreased solubility and tensile strength compared to the control films, but without significant differences ($p > 0.05$) between them, the 0.5% concentration was considered the most suitable.

Keywords: Biopolymer; Solubility; Mechanical Properties.

1. INTRODUÇÃO

O uso excessivo de polímeros de origem fóssil é uma preocupação crescente em nível global. Esses materiais, derivados do petróleo, são amplamente utilizados devido à sua durabilidade e versatilidade [1]. No entanto, sua resistência à degradação ambiental resulta em acúmulo maciço de resíduos plásticos nos ecossistemas terrestres e aquáticos, causando poluição e impactando negativamente a fauna e a flora [2, 3]. Em resposta a essa crise ambiental, tem-se intensificado a busca por alternativas sustentáveis, como os polímeros biodegradáveis, que se degradam mais rapidamente e com menor impacto ambiental [4–6].

Entre as fontes de biopolímeros, a gelatina se destaca por ser um polímero natural obtido por hidrólise do colágeno presente em subprodutos da indústria animal [7]. Devido à sua capacidade formadora de filme, transparência e flexibilidade, a gelatina é amplamente utilizada na produção de filmes biodegradáveis [1, 8]. No entanto, sua alta solubilidade em água representa um desafio a ser superado para viabilizar sua aplicação em ambientes de alta umidade e, consequentemente, prolongar a vida útil dos produtos embalados [9, 10].

O pequi (*Caryocar brasiliense*) é uma fruta nativa do cerrado brasileiro e o óleo extraído de sua polpa apresenta propriedades antioxidantes, antimicrobianas e anti-inflamatórias amplamente reportadas na literatura [11–13]. Assim, a adição de óleo de pequi à formulação de filmes de gelatina surge como uma estratégia promissora para reduzir a solubilidade dos filmes em água, devido à natureza hidrofóbica dos lipídios, podendo também conferir ao material propriedades bioativas.

Nesse contexto, este trabalho objetivou avaliar a influência da adição de óleo de pequi em diferentes proporções nas propriedades físicas, químicas e mecânicas de filmes poliméricos à base de gelatina.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Os reagentes utilizados na elaboração dos filmes de gelatina e óleo de pequi foram: gelatina tipo B (Dinâmica®, Brasil), óleo de pequi (Oleoterapia®, Brasil), glicerol (Dinâmica, Brasil) e Tween 80 (Dinâmica, Brasil).

2.2. Elaboração dos filmes poliméricos

Os filmes foram produzidos utilizando gelatina comercial tipo B, na concentração de 4% (m/v) com e sem adição de óleo de pequi, de acordo com a metodologia descrita em RIGUETO *et al.* [14]. Resumidamente, 4g de gelatina em pó foram dissolvidos em 100 mL de água destilada a 50 °C. Posteriormente, foi adicionado 20% (m/m) de glicerol em relação ao peso da gelatina e a mistura foi agitada por 30 minutos. Além disso, para os filmes compósitos, foram adicionados volumes de 0,5% e 1% (v/v) de óleo de pequi à solução filmogênica, seguida da adição de Tween 80 na proporção 2:1 v/v (Tween 80: Óleo de pequi). As soluções permaneceram em agitação por 1 hora. Após, as soluções foram vertidas em placas de Petri e secas em estufa (SSDc-336 L, Solid Steel, Brasil) a 25 °C por 48 h. Os filmes secos foram armazenados em dessecador com umidade relativa controlada de 70% (utilizando solução saturada de NaBr) a 25 °C por 120 h. A manutenção dessas condições foi monitorada por meio de um termohigrômetro. Por fim, os filmes foram retirados das placas e caracterizados.

2.3. Caracterização dos filmes poliméricos

2.3.1. Espessura

A espessura do filme foi determinada utilizando um micrômetro digital externo (110.284, Digimess, Brasil) em toda a área do filme (foram medidos 6 pontos).

2.3.2. Grupamentos químicos por FTIR

Os grupamentos químicos dos filmes com e sem adição de óleo de pequi foram submetidos à análise de Espectroscopia infravermelha com transformada de Fourier de refletância total atenuada (ATR-FTIR), na faixa de 4000 – 700 cm⁻¹, a 4 cm⁻¹ e resolução e 48 varreduras por espectro (Agilent, Cary 630 FTIR, EUA).

2.3.3. Propriedades Mecânicas – Resistência à Tração e Alongamento na Ruptura

A resistência à tração e o alongamento na ruptura foram determinados utilizando um texturômetro (TA.XTplus Texture Analyzer, Reino Unido), de acordo com a norma ASTM-D882 [15]. A separação inicial das garras foi fixada em 40 mm e a velocidade do teste foi de 0,8 mm.s⁻¹. O tamanho das amostras foi padronizado em 85 × 25 mm.

2.3.4. Solubilidade em água

A solubilidade em água foi determinada seguindo a metodologia adaptada de GÓMEZ-ESTACA *et al.* [16]. Amostras de filmes foram cortadas em proporções de 2×3 cm e secas a 105°C por 1 h em estufa (SSDc-336 L, SolidSteel, Brasil). Em seguida, foram imersas em 50 mL de água destilada e agitadas em shaker (MA420, Marconi, Brasil) a 25°C e 100 rpm por 24 h. Posteriormente, foram filtradas através em papel filtro Whatman nº. 1, afim de recuperar qualquer filme restante não dissolvido e, então, secos a 105°C por 24 h. A solubilidade em água foi calculada usando a Equação 1.

$$\text{Solubilidade (\%)} = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

P_i = peso inicial do filme expresso em matéria seca (g);

P_f = peso do resíduo de filme dessecado não dissolvido (g).

2.4. Tratamento estatístico

Todas as análises descritas foram realizadas em triplicata. O tratamento dos dados experimentais foi realizado por meio da análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey, utilizando intervalo de confiança de 95% no Software Statística 7.0 (StatSoft Inc., EUA).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização dos filmes poliméricos

Os filmes elaborados a partir de gelatina e gelatina e óleo de pequi nas concentrações de 0,5% e 1,0% são apresentados na Figura 1.

Na Figura 1, verifica-se que a adição do óleo de pequi ocasionou uma redução da transparência dos filmes. Isso pode estar associado à presença de pigmentos carotenoides e compostos de clorofila presentes na composição de óleos vegetais [14]. Comportamento similar é reportado por RIGUETO *et al.* [14] ao adicionar óleo essencial de tomilho às formulações de filmes de gelatina comercial e extraídas após pré-tratamento por explosão à vapor.

Além disso, é possível observar uma maior homogeneidade na formulação do filme contendo 1% de óleo de pequi, em comparação com o filme contendo 0,5% (bordas mais transparentes em relação ao centro do filme). Isso pode estar associado ao maior uso do emulsificante Tween80 (proporção 2:1, emulsificante: óleo de pequi) na formulação de 1,0%, resultando em uma maior emulsificação da formulação do óleo acrescido à solução de gelatina.

Na Tabela 1 são apresentadas as caracterizações de espessura, resistência a tração, alongação e solubilidade em água dos filmes.

A espessura é definida como a distância entre as superfícies do filme e pode ser analisada por um dispositivo chamado micrômetro através da média aritmética de medições aleatórias da amostra do filme. Através da espessura, é possível estimar a vida útil do produto acondicionado na embalagem, bem como obter infor-

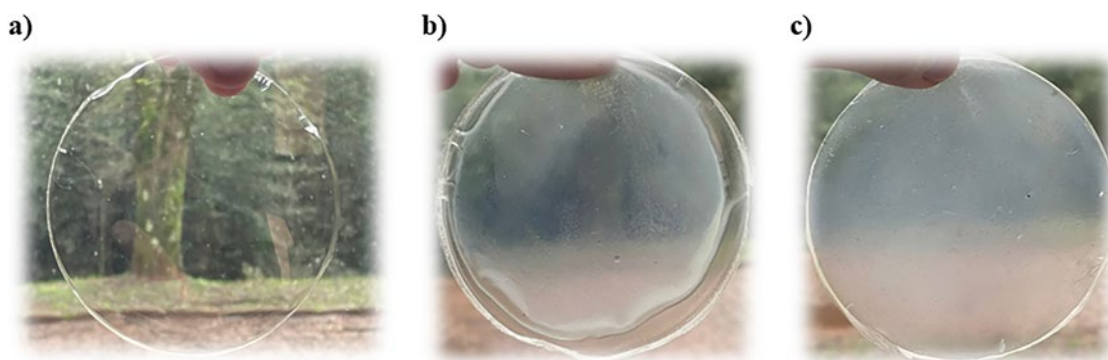


Figura 1: a) Filme de gelatina comercial; b) Filme de gelatina comercial + 0,5% de óleo de pequi; c) Filme de gelatina comercial + 1,0% de óleo de pequi.

Tabela 1: Caracterizações dos filmes de gelatina com adição de óleo de pequi.

ANÁLISE	FILME DE GELATINA	FILME DE GELATINA + 0,5% OP	FILME DE GELATINA + 1% OP
Espessura (mm)	0,061 ± 0,009 ^a	0,073 ± 0,018 ^{ab}	0,079 ± 0,012 ^b
Resistência à tração (MPa)	22,75 ± 0,14 ^b	19,19 ± 0,22 ^a	18,51 ± 1,16 ^a
Elongação (%)	114,06 ± 0,45 ^a	135,66 ± 18,91 ^a	128,89 ± 19,70 ^a
Solubilidade em água (%)	28,50 ± 1,12 ^b	19,35 ± 0,30 ^a	19,71 ± 1,09 ^a

* Médias seguidas de letras iguais na linha não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ($p > 0,05$).

mações sobre as propriedades mecânicas, de barreira a gases e vapor de água do material [17]. Na Tabela 1 verifica-se que para o parâmetro espessura, o filme de gelatina apresentou valor de 0,061 mm, significativamente ($p < 0,05$) inferior aos filmes de gelatina + 0,5% de OP (0,073 mm) e filmes de gelatina + 1% de OP (0,079 mm). No entanto, entre os filmes contendo óleo de pequi não houve diferença significativa ($p > 0,05$).

A espessura dos filmes pode ser influenciada pelos parâmetros utilizados nas operações envolvidas na produção dos filmes, incluindo os aditivos que são adicionados à rede de gelatina [10]. SANI *et al.* [18] reportaram um aumento significativo na espessura dos filmes de gelatina com a incorporação de κ -carragenina, antocianinas e TiO_2 na solução filmogênica. Segundo os autores, isso ocorre devido à maior concentração de sólidos secos no filme após a secagem, o que impactou na redução da resistência das amostras. LI *et al.* [19] observaram que, o uso de surfactantes, como o Tween80 utilizado neste estudo, promovem melhor dispersão das partículas de óleo, tornando-as mais uniformes dentro da matriz polimérica, no entanto esses compostos aumentaram significativamente a espessura dos filmes.

A resistência à tração (RT) indica a resistência máxima do filme na ruptura, e a elongação (ELO) demonstra como o material pode se deformar até se romper. Neste caso, é desejável que as variáveis respostas apresentem maiores em ambos os casos, pois indicam que os filmes são mais resistentes e flexíveis [10]. Na RT dos filmes, observa-se que o filme de gelatina foi significativamente ($p < 0,05$) superior (22,75 MPa) aos filmes acrescidos de óleo de pequi, com valores de 19,19 MPa e 18,51 MPa, respectivamente para as concentrações de 0,5% e 1%. A adição de óleo à formulação dos filmes ocasiona a penetração na matriz polimérica e com isso, o aumento do volume de espaços vazios entre as cadeias moleculares, que pode resultar em uma menor resistência à tração [14]. Com relação à ELO, não se observou diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os filmes de gelatina com ou sem adição de óleo de pequi até a concentração de 1%, com valores variando de 114,06% a 135,66%.

Os biopolímeros apresentam alta solubilidade em água, por isso é imprescindível avaliar se adição de compostos ou modificações estruturais aumentam a hidrofobicidade dos filmes. Como embalagens e revestimentos exigem baixa solubilidade, essa característica influencia diretamente sua aplicação em alimentos [10]. A solubilidade dos filmes mostrada na Tabela 1, indica que a adição do óleo de pequi reduziu significativamente ($p < 0,05$) a solubilidade dos filmes, de 26,50% (filme de gelatina) para aproximadamente 19% nos filmes acrescidos de óleo de pequi. No entanto, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) em relação as concentrações de 0,5% e 1%. Essa redução na solubilidade pode ser explicada pelo caráter hidrofóbico do óleo de pequi, criando regiões na matriz do filme com menor polaridade que a gelatina, exercendo efeito de barreira através da redução da água adsorvida na superfície do filme [20].

XAVIER *et al.* [21] reportaram que quando a concentração de quitosana foi aumentada em filmes de amido/fécula, houve uma redução de 33% para 28% da solubilidade em água, fenômeno atribuído às interações de hidrogênio que ocorrem entre as moléculas de quitosana e fécula, de modo a aumentar a coesão da matriz, o que lhe conferiram maior estabilidade. ROSAS *et al.* [20] também observaram reduções significativas com a adição de óleo de buriti em filmes de amido. A solubilidade do filme controle (apenas amido), reduziu de 47,35% para 32,90% e 33,03% com a adição de 1% e 2%, respectivamente, de óleo de buriti. No entanto, assim como observado neste estudo, não houve diferença significativa na solubilidade dos filmes entre as diferentes concentrações testadas.

Atualmente, ainda não existe uma regulamentação obrigatória que estabeleça parâmetros específicos para as propriedades de filmes biodegradáveis em embalagens. No entanto, políticas estão sendo desenvolvidas para regulamentar a aquisição, rotulagem e uso de plásticos de origem biológica, bem como plásticos biodegradáveis e compostáveis [22]. Em contrapartida, no setor agrícola, a União Europeia (UE) introduziu a norma EN 17.033 em 2018, que define que para filmes de cobertura agrícola serem considerados biodegradáveis, devem converter pelo menos 90% do carbono do material em CO_2 em até dois anos sob condições ambientais do solo. Além disso, devem apresentar resistência à tração mínima de 18 MPa na direção da máquina e 16 MPa na transversal, elongação de pelo menos 150% na direção paralela e 300% na transversal, e transmissão de luz inferior a 3% para filmes pretos e opacos [23].

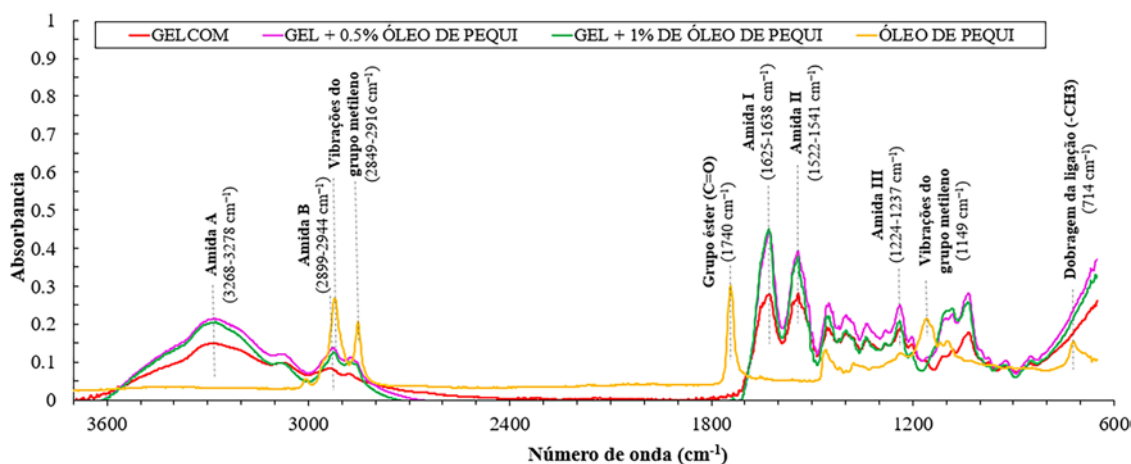


Figura 2: Espectros dos filmes de gelatina comercial e gelatina comercial acrescidos de 0,5% e 1,0% de óleo de pequi.

3.1.1. FTIR-ATR

A análise FTIR é comumente usada para identificar os grupos funcionais e a estrutura secundária de proteínas presentes em filmes de polímero. Além disso, os grupos funcionais presentes nas proteínas interagem entre si durante a preparação do filme, portanto, modificações e interações dos grupos funcionais nos filmes de gelatina podem ser avaliadas [10]. A Figura 2 apresenta os espectros de FTIR das amostras de filmes elaboradas neste estudo.

De acordo com BARROS e SILVA [24], no óleo de pequi, bandas na região de 719 cm^{-1} podem estar relacionadas com a dobragem da ligação ($-\text{CH}_3$), na região de $1030 - 1500\text{ cm}^{-1}$ e $2800 - 3100\text{ cm}^{-1}$ são características de bandas de vibrações do grupo metileno, enquanto que, bandas na faixa de 1650 e 1742 cm^{-1} estão relacionadas às vibrações do grupo éster carbonila, sendo $\text{C}=\text{C}$ e $\text{C}=\text{O}$. Com relação aos compostos majoritários dos filmes de gelatina, as principais estruturas secundárias das proteínas estavam presentes em todas as formulações dos filmes, incluindo amida A ($3261 - 3270\text{ cm}^{-1}$), amida B ($2901 - 2914\text{ cm}^{-1}$), amida I ($2901 - 2914\text{ cm}^{-1}$), amida II ($1518 - 1543\text{ cm}^{-1}$) e amida III ($1224 - 1237\text{ cm}^{-1}$) [14].

Em relação à incorporação do óleo aos filmes de gelatina, embora se observe um aumento na intensidade das bandas características do grupo metileno nos filmes com 0,5% e 1% de óleo de pequi, a normalização dos espectros FTIR (Material suplementar), sugere que essa aparente intensificação na região dos grupos metileno ($\sim 2920 - 2850\text{ cm}^{-1}$) pode ter resultado de variações experimentais, como a distribuição e a quantidade da amostra. Dessa forma, é possível que os grupos funcionais do óleo de pequi tenham se sobreposto às bandas características da gelatina, como Amida B e Amida I, dificultando a identificação clara das interações. Além disso, a ausência de novas bandas nos filmes de gelatina indica que a incorporação do óleo provavelmente ocorreu por interações físicas, sem modificação química detectável por FTIR.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste estudo, conclui-se que a incorporação do óleo de pequi em filmes poliméricos de gelatina, impactou significativamente as propriedades físicas e funcionais dos filmes, especialmente, reduzindo a resistência à tração e a solubilidade. Nesse contexto, levando em consideração que as concentrações de 0,5% e 1% não apresentaram diferenças significativas para promover uma menor solubilidade sem afetar a resistência a tração dos filmes, destacamos que a concentração de 0,5% foi a mais adequada.

Além disso, para otimizar o desempenho desses filmes e expandir suas aplicações, técnicas avançadas de modificação da matriz polimérica, como a adição de nanopartículas ou agentes reticulantes, podem ser empregadas, assim como o uso de outros emulsificantes para melhorar a homogeneidade dos filmes, quando adicionados compostos hidrofóbicos, como óleos vegetais ou essenciais. Essas abordagens têm o potencial de aprimorar as propriedades mecânicas e funcionais dos filmes compósitos, tornando-os mais resistentes e versáteis para aplicações como embalagens.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] ROSSETO, M., RIGUETO, C.V., KREIN, D.D., *et al.* "Biodegradable polymers: opportunities and challenges". In: Sand, A. (ed), *Organic Polymers*, London, IntechOpen, pp. 101–115, 2019.
- [2] ALMEIDA, M.A., SILVA, I.C.A., VIEIRA, A.A., *et al.* "Plásticos nos ambientes marinhos: uma real ameaça à vida dos mamíferos marinhos". In: *15ª Jornada Científica e Tecnológica do IF Sul de Minas*, 2023.

- [3] ORGANIZAÇÃO DA NAÇÕES UNIDAS, *Agência da ONU adverte que ciclo de vida do plástico precisa ser repensado*, 2023, <https://news.un.org/pt/story/2023/06/1815442>, acessado em julho de 2024.
- [4] DE OLIVEIRA, S.M., MARIM, B.M., “Emprego de bandejas biodegradáveis de bagaço de mandioca e álcool polivinílico como embalagem de alimentos”, *Biochemistry and Biotechnology Research (Delta)*, v. 2, n. 3, pp. 343–346, 2013.
- [5] FERREIRA, B., NEYRA, R.C., COSTA, J.C.M., *et al.*, “Produção de filmes biodegradáveis a partir de resíduos de frutas e vegetais: uma revisão atualizada”, *Research, Society and Development*, v. 11, n. 5, pp. e54311528544, 2022. doi: <http://doi.org/10.33448/rsd-v11i5.28544>.
- [6] MARTUCCI, J.F., RUSECKAITE, R.A., “Tensile properties, barrier properties, and biodegradation in soil of compression—molded gelatin-dialdehyde starch films”, *Journal of Applied Polymer Science*, v. 112, n. 4, pp. 2166–2178, 2009. doi: <http://doi.org/10.1002/app.29695>.
- [7] GÓMEZ-GUILLÉN, M., MONTERO, M., “Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review”, *Food Hydrocolloids*, v. 25, n. 8, pp. 1813–1827, 2011. doi: <http://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.02.007>.
- [8] COSTA, I.C., AZEVEDO, S.G., SANCHES, E.A., *et al.*, “Caracterização de nanopartículas poliméricas preenchidas com óleo essencial de *Piper nigrum* por microscopia de força atômica”, *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 26, n. 2, pp. e12981, 2021. doi: <http://doi.org/10.1590/s1517-707620210002.1281>.
- [9] RIGUETO, C.V.T., NAZARI, M.T., MASSUDA, L.Á., *et al.*, “Production and environmental applications of gelatin-based composite adsorbents for contaminants removal: a review”, *Environmental Chemistry Letters*, v. 19, n. 3, pp. 2465–2486, 2021. doi: <http://doi.org/10.1007/s10311-021-01184-0>.
- [10] RIGUETO, C.V.T., ROSSETO, M., ALESSANDRETTI, I., *et al.*, “Gelatin films from wastes: A review of production, characterization, and application trends in food preservation and agriculture”, *Food Research International*, v. 162, pp. 112114, 2022. doi: <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112114>.
- [11] MIRANDA-VILELA, A.L., “*Avaliação dos efeitos antigenotóxicos, antioxidantes e farmacológicos de extratos da polpa do fruto do pequi (Caryocar brasiliense CAMB)*”, Tese de D.Sc., Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- [12] PASSOS, X.S., SANTOS, S.C., FERRI, P.H., *et al.*, “Atividade antifúngica de *Caryocar brasiliensis* (Caryocaraceae) sobre *Cryptococcus neoformans*”, *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, v. 35, n. 6, pp. 623–627, 2002. doi: <http://doi.org/10.1590/S0037-86822002000600013>. PubMed PMID: 12612745.
- [13] TORRES, L.R.O., SANTANA, F.C., SHINAGAWA, F.B., *et al.*, “Bioactive compounds and functional potential of pequi (*Caryocar* spp.), a native Brazilian fruit: a review”, *Grasas y Aceites*, v. 69, n. 2, pp. e257–e257, 2018. doi: <http://doi.org/10.3989/gya.1222172>.
- [14] RIGUETO, C.V.T., DE VASCONCELOS, G., ROSSETO, M., *et al.*, “Composite films from steam-exploded gelatin and thyme essential oil: production, characterization and application as coatings”, *Journal of Polymers and the Environment*, v. 32, n. 6, pp. 2616–2628, 2024. doi: <http://doi.org/10.1007/s10924-024-03185-w>.
- [15] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, *ASTM D882-02: Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting*, West Conshohocken, PA, ASTM International, 2010.
- [16] GÓMEZ-ESTACA, J., MONTERO, P., FERNÁNDEZ-MARTÍN, F., *et al.*, “Physico-chemical and film-forming properties of bovine-hide and tuna-skin gelatin: a comparative study”, *Journal of Food Engineering*, v. 90, n. 4, pp. 480–486, 2009. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.07.022>.
- [17] ZHANG, X., LIU, Y., YONG, H., *et al.*, “Development of multifunctional food packaging films based on chitosan, TiO₂ nanoparticles and anthocyanin-rich black plum peel extract”, *Food Hydrocolloids*, v. 94, pp. 80–92, 2019. doi: <http://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.009>.
- [18] SANI, M.A., TAVASSOLI, M., SALIM, S.A., *et al.*, “Development of green halochromic smart and active packaging materials: TiO₂ nanoparticle-and anthocyanin-loaded gelatin/κ-carrageenan films”, *Food Hydrocolloids*, v. 124, pp. 107324, 2022. doi: <http://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107324>.
- [19] LI, X., TU, Z.C., SHA, X.M., *et al.*, “Flavor, antimicrobial activity, and physical properties of composite film prepared with different surfactants”, *Food Science & Nutrition*, v. 8, n. 7, pp. 3099–3109, 2020. doi: <http://doi.org/10.1002/fsn3.1526>. PubMed PMID: 32724574.
- [20] ROSAS, L.S., LOPES FILHO, J.F., DUTRA, J.W.A., *et al.*, “Películas de mandioca reforzada con nanocelulosa y adición de aceite de buriti (*Mauritia Flexuosa* L.)”, *Revista ION*, v. 36, n. 3, pp. 53–62, 2023.

- [21] XAVIER, T.D.N., OLIVEIRA, V.R.L., LEITE, R.H.L., *et al.*, “Filmes biopoliméricos baseados em fécula, quitosana e cera de carnaúba e suas propriedades”, *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 25, n. 4, pp. e12866, 2020. doi: <http://doi.org/10.1590/s1517-707620200004.1166>.
- [22] COMISSÃO EUROPEIA, *Bio-based, biodegradable and compostable plastics*, https://environment.ec.europa.eu/topics/plastics/bio-based-biodegradable-and-compostable-plastics_en#timeline, acessado em julho de 2024.
- [23] HAYES, D.G., FLURY, M., *Summary and assessment of EN 17033: 2018, a new standard for biodegradable plastic mulch films. Rpt. No. EXT-2018-01*, <https://ag.tennessee.edu/biodegradablemulch/Documents/EU%20regs%20factsheet.pdf>, acessado em julho de 2024.
- [24] BARROS, W.M., SILVA, R.S.R., “Caracterização dos grupos funcionais do óleo essencial de pequi Caryocar brasiliense por espectroscopia de absorção molecular na região média do infravermelho (MID)”, In: *15º SLACAN: Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos e Nutrição*, 2023, <https://proceedings.science/slacan-2023/trabalhos/caracterizacao-dos-grupos-funcionais-do-oleo-essencial-de-pequi-caryocar-brasili?lang=pt-br>, acessado em julho de 2024.

MATERIAL SUPLEMENTAR

O seguinte material suplementar está disponível online:

Figura S1 – Espectros normalizados dos filmes de gelatina comercial e gelatina comercial acrescidos de 0,5% e 1,0% de óleo de pequi.