

ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE ÓLEO DE AMÊNDOA COMO PLASTIFICANTE EM MEMBRANAS À BASE DE FARINHA DE BABAÇU PARA APLICAÇÃO COMO CURATIVO

Emanuella de A. Carvalho¹, João G. P. Barbosa², Douglas T. S. L. Mendes¹, Zora I. G. dos Santos¹, Cristiane X. Resende^{1,2}

¹ Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais/Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão - SE, Brasil (202011006211@academico.ufs.br)

² Departamento de Engenharia de Materiais/Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão - SE, Brasil

Resumo: Foram desenvolvidas membranas a partir da farinha do mesocarpo do coco babaçu para analisar o desempenho do óleo de amêndoia atuando como plastificante, visando sua aplicação como curativo. Foram realizadas caracterizações morfológicas por MEV, de molhabilidade, de grupos funcionais por FTIR e mecânicas por ensaio de tração das amostras. Os resultados evidenciaram boa formação da matriz polimérica, influência do óleo nas propriedades mecânicas e apontaram possibilidades de otimização para melhorar a compatibilidade e ampliar o uso biomédico de materiais naturais.

Palavras-chave: babaçu; óleo de amêndoia; membranas poliméricas; curativos; biopolímeros.

INTRODUÇÃO

A cicatrização de feridas é um processo biológico complexo, fundamental para a integridade e funcionalidade da pele, e representa um dos maiores desafios na área da engenharia tecidual (GURTNER *et al.*, 2008). Esse processo envolve uma série de eventos moleculares e celulares que ocorrem de forma ordenada em três fases principais: inflamação, proliferação e remodelação (FALANGA *et al.*, 2005). Cada uma dessas etapas depende da atuação de mediadores inflamatórios, fatores angiogênicos, proteínas da matriz extracelular e elementos celulares como fibroblastos e queratinócitos (Gurtner *et al.*, 2008; Falanga *et al.*, 2005). Conforme RIZZI *et al.* (2010), a complexidade desse processo, associada à possibilidade de infecções, necroses e dificuldades de regeneração, tem impulsionado a busca por materiais alternativos que auxiliem na cicatrização de feridas de forma eficaz, segura e acessível.

Nesse cenário, os curativos modernos têm evoluído para além de simples barreiras físicas, incorporando tecnologias que proporcionam suporte bioativo à cicatrização (BORDA *et al.*, 2016). Idealmente, um curativo eficaz deve manter a umidade adequada, permitir trocas gasosas, absorver exsudatos, proteger contra infecções e ainda ser confortável e biodegradável (Rizzi *et al.*, 2010). A utilização de

materiais naturais na confecção desses curativos tem se mostrado promissora, especialmente devido à maior disponibilidade, baixo custo e reduzido impacto ambiental, além de apresentarem características como biocompatibilidade e biodegradabilidade. Dentre os materiais estudados, os biopolímeros como amido, quitosana, colágeno e alginato ganham destaque por suas propriedades físico-químicas e pela capacidade de formar filmes e membranas com potencial aplicação biomédica (Agrawal *et al.*, 2014).

Uma atenção especial tem sido dada ao uso de materiais oriundos da biodiversidade brasileira, como é o caso do coco babaçu (*orbignya phalerata*), fruto obtido por meio de uma palmeira nativa e amplamente distribuída nas regiões Norte e Nordeste do país (CARRAZZA *et al.*, 2012). Esse fruto é composto por quatro partes: epicarpo, mesocarpo, endocarpo e amêndoia. O mesocarpo, em especial, é rico em amido (entre 50 e 66%) e compostos bioativos como taninos e antocianinas, além de ser tradicionalmente utilizado na medicina popular devido às suas propriedades cicatrizantes e anti-inflamatórias (Batista *et al.*, 2006; Arruda, Lima e Ribeiro, 2012; Baldez *et al.*, 2006). Pesquisas recentes apontam que a farinha do mesocarpo do coco babaçu possui grande potencial como matriz polimérica para aplicações biomédicas e industriais, devido às suas propriedades estruturais, mecânicas e biológicas (Carvalho *et al.*, 2023; Ghosh *et al.*, 2019; Mirres *et al.*, 2024).

Contudo, membranas obtidas exclusivamente a partir de materiais amiláceos, como a farinha do babaçu, tendem a apresentar elevada rigidez e fragilidade mecânica, dificultando sua aplicação prática como curativo. Para superar essas limitações, a adição de plastificante é uma estratégia amplamente empregada. Plastificantes são compostos que se inserem entre as cadeias poliméricas, reduzindo as forças intermoleculares e aumentando a flexibilidade e a resistência à deformação das membranas (Sothornvit e Krochta, 2005; Filho, 2019). No entanto, a escolha do plastificante e sua concentração são determinantes, isto é, concentrações elevadas ou incompatibilidades químicas com a matriz polimérica podem gerar efeitos contrários, como perda de coesão, redução de hidrofilicidade e instabilidade mecânica (Shimazu *et al.*, 2007; Maniglia *et al.*, 2017).

Neste contexto, o óleo de amêndoas (*Prunus amygdalus var. dulcis*) surge como uma alternativa de plastificante natural, com o diferencial de agregar valor funcional ao material. Rico em ácido oleico, vitaminas E e K, manganês (Mn) e compostos fenólicos, o óleo de amêndoas possui reconhecidas propriedades hidratantes, antioxidantes e anti-inflamatórias, sendo amplamente utilizado na indústria cosmética e farmacêutica (Ahmad, 2010; Čolić *et al.*, 2019; Santa-María *et al.*, 2023). Estudos também demonstram seu potencial na regeneração da pele, na prevenção de cicatrizes e na melhora da elasticidade cutânea, atributos altamente desejáveis para um material de uso tópico como curativo (Ouzir *et al.*, 2021).

A literatura recente vem explorando a combinação de matrizes poliméricas naturais com plastificantes bioativos para desenvolver filmes e membranas com aplicações terapêuticas. Por exemplo, Maniglia *et al.* (2019) demonstraram a viabilidade do uso da farinha do mesocarro de babaçu na formulação de filmes bioativos. Já Souza *et al.* (2020) realizaram análises por FTIR em óleos vegetais, evidenciando as alterações estruturais resultantes de processos oxidativos, o que contribui para o entendimento das interações químicas entre os compostos presentes na matriz e o plastificante. Além disso, Carvalho *et al.* (2023) ressaltam que o amido, principal componente da farinha do mesocarro do coco babaçu, é altamente eficiente na formação de membranas resistentes e compatíveis com aplicações farmacêuticas.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo geral avaliar a viabilidade do uso do óleo de amêndoas como plastificante na estrutura de membranas produzidas a partir da farinha do mesocarro do coco babaçu, visando sua aplicação como curativo de feridas. Para isso, esta pesquisa investigou a influência da concentração do óleo de amêndoas na morfologia, propriedades mecânicas, químicas (grupos funcionais) e de molhabilidade das membranas. A partir desses

dados, busca-se compreender a interação entre os componentes e verificar se o óleo de amêndoas apresenta desempenho adequado como plastificante para este tipo de matriz polimérica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

A farinha do mesocarro do coco babaçu (*Orbignya phalerata*) foi adquirida através da compra de produtor comercial. O material a ser empregado como plastificante adotado neste estudo foi o óleo vegetal de amêndoas doces (*Prunus amygdalus vr. dulcis* / BioEssência).

Síntese das membranas

As membranas sintetizadas foram baseadas nas formas pura, isto é, com apenas a farinha do mesocarro de babaçu como controle, e, com adição do óleo de amêndoas.

Para isso, foram preparadas três amostras, quais sejam: membrana pura (MP), com uma composição de farinha em uma proporção de 4 % (m/v) em relação à água ultrapura; membranas com adição de 3 e 10 % (m/m) de óleo de amêndoas, denominadas de MA3 e MA10, respectivamente. As soluções foram postas em agitação por 30 min a temperatura ambiente, e posteriormente, a temperatura foi elevada para 90 °C, sendo a agitação mantida constante durante o mesmo período. Em sequência, elas foram vertidas individualmente em placas de Petri e mantidas em repouso em estufa a 37 °C até estarem completamente secas, pelo método *casting*.

Caracterização morfológica por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A investigação morfológica das membranas produzidas foi realizada através do uso de microscopia eletrônica de varredura, em um equipamento da marca JEOL (JSM-5700). As amostras foram previamente metalizadas por 60 segundos para obtenção de uma fina camada de ouro para possibilitar a obtenção das micrografias. O procedimento experimental foi conduzido sob uma tensão de aceleração de 5 kV, empregando incrementos de magnitudes.

Identificação de grupos funcionais por Espectroscopia de Absorção na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

As amostras foram analisadas por FTIR no modo de Refletância Total Atenuada (ATR) para verificar os

grupos funcionais presentes nas membranas e possíveis interações entre o óleo de amêndoas e a matriz polimérica. O equipamento utilizado foi o espetrômetro Spectrum Two FTIR, e a análise foi realizada na faixa espectral de 650 a 4000 cm⁻¹, no Núcleo de Energias Renováveis e Eficiência Energética de Sergipe (NEREES).

Análise da Molhabilidade e cálculo de tensão superficial

Para compreender a interação das membranas com a água, principal composto do corpo humano, foi realizada a determinação do ângulo de contato formado entre a interface líquido/sólido, pelo método da gota séssil (MENDES *et al.*, 2021), utilizando água ultrapura e formamida (CH₃NO). Para isso, utilizou-se um Microscópio Digital (Zoom 1600x Câmera 2.0 Mp Usb). Em seguida, as imagens obtidas foram analisadas usando um software ImageJ 1.54g (National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA) para a medição dos ângulos. Em sequência, também foi determinada a energia superficial das membranas. A determinação da energia superficial (γ_{LS}), em suas componentes dispersiva e polar, foi realizada a partir da equação de Kaelble (Equação 1) (BATEUP, 1981).

$$\gamma_{LV} \cdot [1 + \cos \theta] = 2 \cdot (\gamma_S^d \cdot \gamma_{LV}^d)^{0.5} + 2 \cdot (\gamma_S^p \cdot \gamma_{LV}^p)^{0.5} \quad (1)$$

Sendo $\gamma_{LV}^d=21,8 \text{ mJ.m}^{-2}$ e $\gamma_{LV}^p=51,0 \text{ mJ.m}^{-2}$ as tensões dispersiva e polar da água, bem como, $\gamma_{LV}^d=39,0 \text{ mJ.m}^{-2}$ e $\gamma_{LV}^p=19,0 \text{ mJ.m}^{-2}$ as tensões dispersiva e polar da formamida, respectivamente. O θ é o ângulo formado entre líquido e a superfície. A energia de superfície entre o líquido/vapor (γ_{LV}), representa a soma entre seus componentes γ_{LV}^d e γ_{LV}^p .

Caracterização mecânica através do Ensaio de Tração

As amostras, com dimensão de 70×25×0,18 mm, foram submetidas ao ensaio de tração. Para isso, utilizou-se uma máquina de ensaio universal Instron 3367 com garras pneumáticas Instron 2712-019, estabelecendo uma distância inicial de 35 mm entre elas. O teste foi conduzido a uma taxa de deformação de 1 mm.s⁻¹ até a ocorrência da fratura, em conformidade com a diretriz normativa ASTM D882.

Análise estatística

Todos os resultados foram realizados em triplicata e expressos com média ± desvio padrão amostral. Especificamente para os resultados de ângulo de contato, energia superficial e propriedades mecânicas foi realizada a Análise de Variância (ANOVA) com

um teste *post hoc* de Tukey a um nível de significância de 95 % ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização morfológica por MEV

As microscopias referentes às morfologias das membranas podem ser observadas na Figura 1. As amostras investigadas compreenderam tanto as membranas em sua forma pura quanto aquelas aditivadas com o óleo de amêndoas nas proporções de 3 e 10 % (m/m).

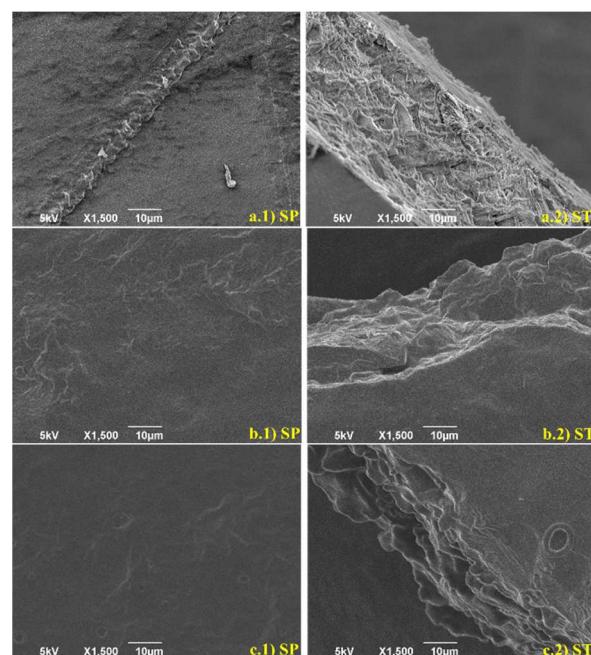


Figura 1. Micrografias obtidas por MEV das superfícies (SP) e da seção transversal (ST) das membranas: **a)** MP, **b)** MA3, **c)** MA10.

Observa-se que, independentemente da composição, as superfícies das membranas, embora predominantemente lisas, apresentam certa rugosidade. Essa característica torna-se ainda mais evidente na análise da seção transversal, onde a irregularidade é mais acentuada. No caso da amostra MA10, foram identificadas zonas circulares pontuais, aparentemente mais profundas, sugerindo acúmulo localizado do óleo de amêndoas. Essa irregularidade superficial indica uma possível distribuição heterogênea do óleo de amêndoas na matriz polimérica, sugerindo que não ocorreu uma interação uniforme entre os componentes (HADI *et al.*, 2024). Isso pode ser explicado devido a característica hidrofóbica do óleo, o que leva a uma má distribuição na matriz e

consequentemente formação de pontos concentradores de tensão, o que posteriormente, quando submetidos a esforços mecânicos, poderão atuar promovendo a nucleação e propagação de trincas, consequentemente fragilizando a membrana.

Identificação de grupos funcionais por FTIR

A Figura 2 apresenta os espectros de MP, MA3 e MA10, que foram obtidos por FTIR/ATR. Pode-se observar que, independentemente da composição das membranas, estão presentes bandas centradas que são características de grupamentos químicos de compostos orgânicos, a exemplo do amido e do óleo de amêndoia que compõem as membranas.

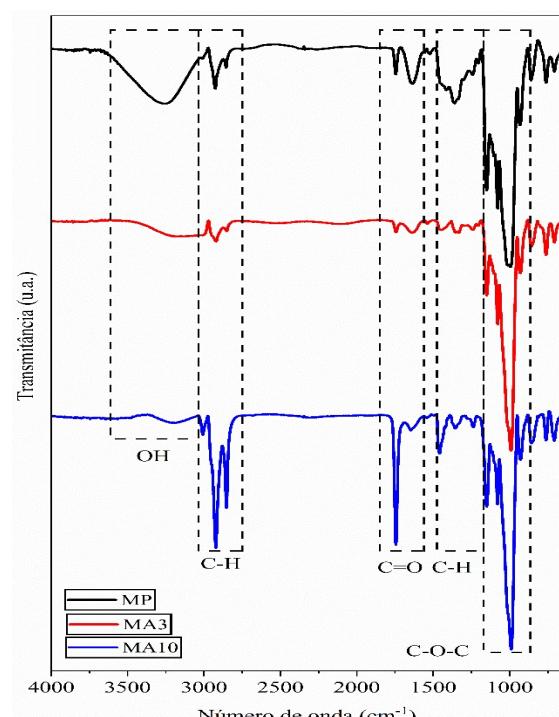


Figura 2. FTIR das diferentes composições das membranas.

As bandas centradas em torno de 3500 e 3000 cm⁻¹ podem ser associadas às vibrações do estiramento dos grupos hidroxila (OH) (BELLA *et al.*, 2020; JENKHONGKARN e PHISALAPHONG, 2023). Em torno de 2930 e 2850 cm⁻¹ são observadas as bandas centradas referentes às vibrações típicas do estiramento C-H (MA *et al.*, 2017; LIMA *et al.*, 2023), comum tanto na estrutura das proteínas, amido e pectina, presentes na farinha do mesocarpo, como pelas vibrações de deformação axial ocasionadas pelos ácidos graxos, presentes no óleo de amêndoia.

As bandas centradas entre 1740 e 1630 cm⁻¹ são atribuídas à vibração de alongamento do grupo carbonila C=O (CARVALHO *et al.*, 2023; CHIENG *et al.*, 2013), estando relacionada tanto às estruturas proteicas, oriundas do mesocarpo do coco babaçu, quanto aos grupos carbonílicos presentes em hidroperóxidos lipídicos, resultantes da oxidação de ácidos graxos no óleo de amêndoia.

Adicionalmente, as bandas atribuídas tanto ao estiramento C-H quanto ao grupo carbonila C=O são observadas com maior intensidade na MA10, indicando a alta taxa de ácidos graxos presente. Isso se deve em razão da maior concentração do óleo de amêndoia na composição dessas composições de membranas. Já as bandas em torno de 1320 cm⁻¹ podem ser atribuídas à flexão da ligação C-H da celulose (OH *et al.*, 2005). Na região entre 1150 e 920 cm⁻¹ observam-se bandas centradas mais intensas, as quais são atribuídas à vibração da ligação C-O-C típica de estruturas com cadeias de polissacarídeos (MANIGLIA *et al.*, 2019; CARVALHO *et al.*, 2023).

Esses resultados são consistentes com os dados apresentados por Maniglia *et al.* (2019), que também identificaram bandas centradas nas mesmas regiões espectrais. Tal concordância reforça que a análise dos espectros de FTIR em amidos evidencia similaridades nas características vibracionais, ao mesmo tempo em que permite detectar variações específicas associadas principalmente à presença de proteínas, bem como às propriedades estruturais e composticionais do amido. Essa abordagem contribui significativamente para uma compreensão mais aprofundada de suas propriedades químicas. De forma complementar, Souza *et al.* (2020) também observaram padrões semelhantes ao investigarem os grupos funcionais presentes em óleos vegetais, incluindo o óleo de amêndoia, antes e após processos oxidativos, corroborando a influência desses grupos nas alterações estruturais detectadas por espectroscopia vibracional.

Molhabilidade e energia superficial

Os ângulos de contato, obtidos usando o método da gota séssil, são apresentados na Figura 3. Observa-se inicialmente que a presença do óleo de amêndoia na membrana proporcionou um aumento estatisticamente significativo do ângulo de contato.

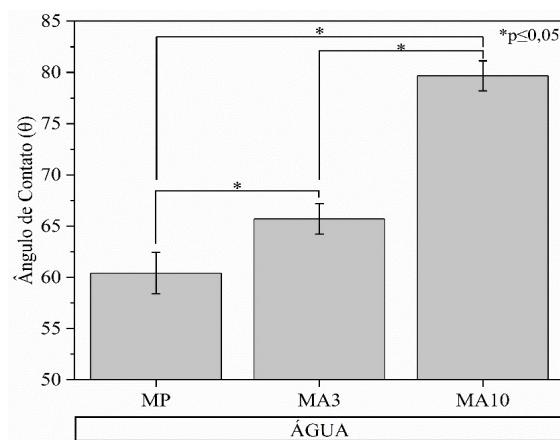


Figura 3. Ângulos de contato obtidos utilizando a água ultrapura como solvente para análise da molhabilidade das membranas. (*) indica significância estatística entre os grupos, ANOVA ($p<0,05$).

As amostras MP, MA3 e MA10 apresentaram ângulos de $60 \pm 2^\circ$, $66 \pm 1^\circ$ e $80 \pm 1^\circ$, respectivamente. Para todas as composições estudadas observa-se um comportamento notadamente hidrofílico ($\theta < 90^\circ$), isto é, uma importante característica para aplicação em curativos (BARBOSA e CARVALHO, 2023). Entretanto, verifica-se que a incorporação do óleo de amêndoа, bem como o aumento de sua concentração, de 3% para 10%, promove um aumento no ângulo de contato da gota de água sobre a superfície das membranas. Esse aumento no valor de θ está associado a uma menor afinidade da superfície com a água, indicando, portanto, uma redução na molhabilidade, estando a MA10 próxima ao limite entre um material hidrofílico e hidrofóbico, com θ próximo à 90° . Dessa forma, sugere-se que não houve uma perfeita interação do óleo de amêndoа na matriz polimérica, causando o seu acúmulo na superfície da MA3 e MA10, conforme observado nas micrografias obtidas (Figura 1), auxiliando na redução da hidrofilicidade das membranas.

Adicionalmente, a partir dos valores de θ , determinados a partir da água ultrapura e formamida como solventes, foi utilizada a Equação 1 para calcular a tensão superficial de cada membrana estudada, cujos resultados são apresentados na Figura 4.

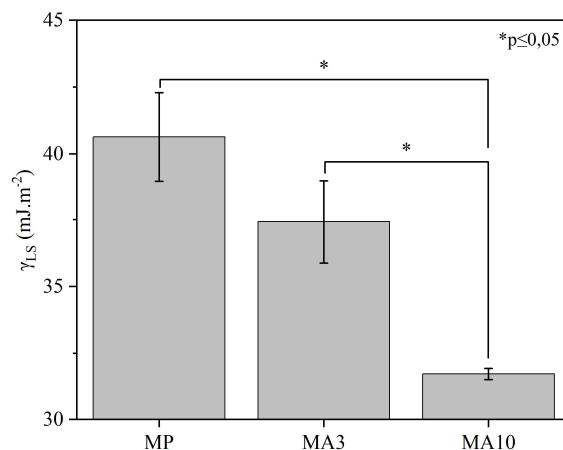


Figura 4: Energias de superfície das membranas. (*) indica significância estatística entre os grupos, ANOVA ($p<0,05$).

Pode-se observar, a partir dos dados obtidos, que as amostras MP, MA3 e MA10 apresentaram tensões superficiais de $41 \pm 2 \text{ mJ} \cdot \text{m}^{-2}$, $37 \pm 2 \text{ mJ} \cdot \text{m}^{-2}$ e $31 \pm 0,2 \text{ mJ} \cdot \text{m}^{-2}$, respectivamente. Esses resultados, em concordância com os valores de ângulo de contato, evidenciam uma redução significativa na tensão superficial da amostra MA10 em relação às demais. Tal diminuição sugere que essa membrana apresenta menor capacidade de interação com meios líquidos. Essa característica é indesejável para aplicações em curativos para feridas cutâneas, onde uma boa molhabilidade é essencial para promover a adesão com o tecido biológico (BARBOSA e CARVALHO, 2023). Apesar dessa redução significativa na tensão superficial da MA10 comparativamente as demais composições, essa membrana ainda possui uma possível característica hidrofílica.

Caracterização mecânica através do Ensaio de Tração

As curvas de tensão-deformação demonstrativas médias das membranas com adição do óleo de amêndoа empregado como plastificante (3 e 10 % m/m) em comparação com a membrana pura são ilustradas na Figura 5.

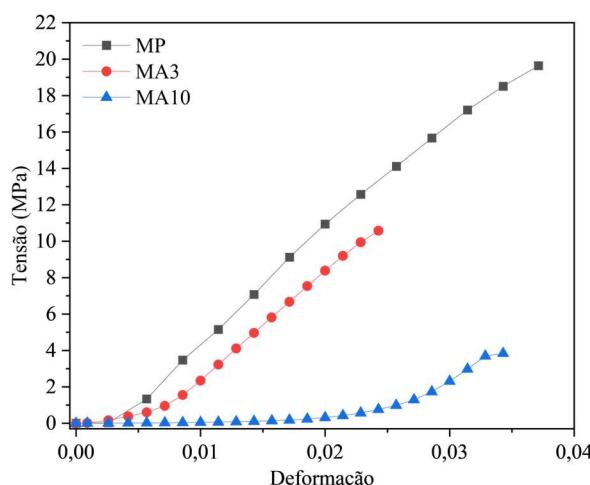


Figura 5. Curva de tensão *versus* deformação das membranas.

A partir da Figura 5, as propriedades mecânicas das membranas foram avaliadas em termos de tensão na força máxima (TM), alongamento na ruptura (AR) e módulo de elasticidade (E). Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Propriedades mecânicas das membranas.

	TM (MPa)	AR (%)	E (MPa)
MP	21 ± 4^a	$3,2 \pm 0,7^a$	683 ± 10^a
MA3	$10,6 \pm 0,4^b$	$2,4 \pm 0,9^a$	297 ± 40^b
MA10	$4,0 \pm 0,5^c$	4 ± 1^a	$2,0 \pm 0,6^c$

Nota: Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna são significativamente diferentes entre si, de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Inicialmente, verificou-se que a amostra MP apresenta uma resistência mecânica estatisticamente superior às demais membranas aditivadas com óleo de amêndoia (MA3 e MA10). Além disso, a MP apresentou uma tensão na força máxima superior (21 ± 4 MPa) em comparação às membranas contendo o óleo de amêndoia. Além disso, todas as amostras apresentaram um comportamento frágil, caracterizado pela ausência de ductilidade, não havendo diferença estatisticamente significativa entre os seus respectivos percentuais de AR. A MA3 apresentou uma tensão na força máxima significativamente menor em relação à MP. Já em relação à MA10, observou-se uma redução ainda mais acentuada na tensão na força máxima, tanto em comparação à MP quanto à MA3, sem que houvesse ganhos expressivos no alongamento na ruptura.

Adicionalmente, conforme demonstrado tanto na curva tensão *versus* deformação média demonstrativa (Figura 5) quanto nos dados de propriedades mecânicas, apresentados na Tabela 2, a amostra

MA10, que possui maior concentração do óleo de amêndoia, não exibiu o comportamento esperado. Esse fato é evidenciado pela redução nos valores de tensão na força máxima e alongamento na ruptura em relação às demais composições de membranas, indicando que a MA10 manteve um comportamento frágil.

Os resultados indicam que o óleo de amêndoia não desempenhou adequadamente a função esperada, uma vez que apresentou baixa interação com a matriz polimérica, resultando em uma dispersão heterogênea. Consequentemente, o óleo não atuou de forma eficaz como plastificante nas membranas. A fragilidade observada pode ser atribuída à fraca interação interfacial ou à elevada incompatibilidade entre o polímero e o óleo de amêndoia, o que já havia sido evidenciado pelas micrografias de superfície (Figura 1), pelas variações nos ângulos de contato (Figura 3) e pelas alterações nas tensões superficiais (Figura 4).

Portanto, esses resultados sugerem a necessidade de incorporar um agente compatibilizante, de forma a melhorar a interação do plastificante com a matriz polimérica. Por outro lado, fica evidenciado que, em pequenas quantidades, este óleo pode atuar como lubrificante na matriz de base amido, o que neste caso é inadequado para a sua aplicação. Mas ficou evidenciado que ele serve para outro caso, especialmente como lubrificante/desmoldante.

CONCLUSÃO

A partir dos dados obtidos por meio das caracterizações realizadas nas membranas, foi verificado que não houve compatibilização entre a matriz polimérica formada pelo amido presente no mesocarpo do coco babaçu e o óleo de amêndoia. Esse fato pode ser observado nas micrografias realizadas por MEV, especialmente as obtidas da MA10, que apresentaram pontos de acúmulo do óleo de amêndoia na superfície da membrana. Além disso, com o aumento da concentração do óleo de amêndoia na composição das membranas, observou-se um aumento significativo no ângulo de contato obtido, reduzindo sua hidrofilicidade e, consequentemente, causando uma redução significativa na tensão superficial quando se trata da MA10 em relação à MP e MA3. Apesar da não homogeneização da matriz polimérica, os espectros obtidos por FTIR apresentaram bandas que são características de ambos os materiais orgânicos presentes na composição das membranas, o amido do mesocarpo do coco babaçu e o óleo de amêndoia. Já o teste de tração demonstrou um comportamento frágil de todas as composições de membranas (MP, MA3 e MA10). Além disso, a presença do óleo de amêndoia e o aumento da sua concentração de 3 para 10 % (m/m) na matriz

polimérica gerou perda na tensão na força máxima das membranas, contudo, sem ganhos no alongamento na ruptura delas.

Portanto, nenhuma das concentrações sugeridas do óleo de amêndoas na composição das membranas obteve resultado promissor para ser aplicado como plastificante, indicando que novos estudos devem ser realizados a fim de propor um ajuste na metodologia, de forma a possibilitar a compatibilização desses materiais processados em meio aquoso.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Pesquisa da Universidade Federal de Sergipe (COPES/UFS) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas bolsas disponibilizadas. Ao Condomínio de Laboratórios Multiusuários do Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais (CLDCEM) pela infraestrutura dedicada a este projeto.

REFERÊNCIAS

AGRAWAL, P., SONI, S., MITTAL, G., BHATNAGAR, A., 2014. Role of polymeric biomaterials as wound healing agents. *Int. J. Low. Extr. Wound.* 13, 180-190.

AHMAD, Z., **The uses and properties of almond oil.** Complementary Therapies in Clinical Practice Volume 16, Issue 1, February 2010, Pages 10-12. <https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2009.06.015>.

ARARUNA, F. B. et al, Green syntheses of silver nanoparticles using babassu mesocarp starch (*Attalea speciosa* Mart. Ex Spreng.) and their antimicrobial applications, **Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management**, v. 13, p. 1-7. 2020.

ARRUDA, L. C. G.; LIMA, M. DA P. L.; RIBEIRO, M. N. DE S. Estudo fitoquímico em farinha do mesocarpo do babaçu (*Orbignya phalerata* Mart., ARECACEAE). **I Congresso de Iniciação Científica PIBIC/CNPq - PAIC/FAPEAM**, p. 3–6, 2012.

BALDEZ, R. N. et al. Análise da cicatrização do cólon com uso do extrato aquoso da *Orbignya phalerata* (Babaçu) em ratos. **Acta Cirurgica Brasileira**, v. 21, p. 31–38, 2006.

BARBOSA, Raquel Costa; CARVALHO, Sandra Maria Sobral de. **Membranas de quitosana e *Mentha piperita* para uso como curativo em queimaduras.** Anais do Congresso de Iniciação Científica, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação da

Universidade Federal de Campina Grande, v. 20, n. 1, p. 1–1, 2023. Disponível em: <https://revistas.editora.ufcg.edu.br/index.php/cicufcg/article/view/5988>. Acesso em: 20 maio 2025.

BATEUP, B. O., “**Surface chemistry and adhesion**”, *Int J Adhes Adhes*, vol. 1, no. 5, pp. 233–239, Jul. 1981, doi: 10.1016/0143-7496(81)90071-3.

BATISTA, C. P. et al. Efeito do extrato aquoso de *Orbignya phalerata* (babaçu) na cicatrização do estômago em ratos: estudo morfológico e tensiométrico. **Acta Cirurgica Brasileira**, v. 21, p. 26–32, 2006.

BELLA, F.R., WIDYANTI, P., AMINATUN, A. “**The Effect of Glycerol Concentration on Biocomposite Bacterial Cellulose-Chitosan Characterization as Dura Mater Artificial**”, *Journal of Biomimetics, Biomaterials and Biomedical Engineering*, vol. 45, pp. 40–48, May 2020.

BORDA, L. J.; MACQUHAE, F. E.; KIRSNER, R. S. **Wound dressings: a comprehensive review.** *Current Dermatology Reports*, v. 5, p. 287-297, 2016.

CARRAZZA, L. R.; ÁVILA, J. C. C.; SILVA, M. L. **Manual Tecnológico de Aproveitamento Integral do Fruto do Babaçu.** 1. ed. Brasília-DF: Instituto Sociedade, População e Natureza (ISP). Brasil, 2012.

CARVALHO, L.M., BEZERRA, C.W.B., ROCHA, C.Q.d., OLIVEIRA, L.N.d., VASCONSELOS, L.N., SANTANA, S.A.A. **Open-access Controlled Release of Rutin from Babassu Coconut Mesocarp Starch Films.** *J. Braz. Chem. Soc.* 34 (9) • 2023. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20230045>.

CARVALHO, L., BEZERRA, C., ROCHA, C.D. et al. “**Controlled Release of Rutin from Babassu Coconut Mesocarp Starch Films**”, *J Braz Chem Soc*, 2023.

CHIENG, B., IBRAHIM, N., YUNUS, W., HUSSEIN, M. “**Poly(lactic acid)/Poly(ethylene glycol) Polymer Nanocomposites: Effects of Graphene Nanoplatelets**”, *Polymers (Basel)*, vol. 6, no. 1, pp. 93–104, Dec. 2013.

ČOLIĆ, S., ZEC, G., NATIĆ, M., FOTIRIĆ-AKŠIĆ, M. **Almond (*Prunus dulcis*) oil.** In: RAMADAN, M. (eds) **Fruit Oils: Chemistry and Functionality.** Springer, Cham. 2019.

CSAKVARI, A.C., LUPITU, A., BUNGĂU, S., GÎTEA, M.A., GÎTEA, D., ȚIȚ, D.M., COPOLOVICI, L., NEMETH, S., COPOLOVICI, D. **Fatty acids profile and antioxidant activity of almond oils obtained from six romanian varieties.** *FARMACIA*, 2019.

FILHO, E. A. B. “**Produção de membranas de alginato e mesocarpo de coco babaçu com adição**

de fibras de sisal e lã de algodão”. Monografia, Universidade Federal de Maranhão-UFMA, Curso de Engenharia Química, pp. 1-62, 2019.

GHOSH, A., RAZZINO, C.d.A., DASGUPTA, A., FUJISAWA, K., VIEIRA, L.H.S., SUBRAMANIAN, S., COSTA, R.S., FERREIRA, O.P., ROBINSON, J., VIANA, B.C. Structural and electrochemical properties of babassu coconut mesocarp-generated activated carbon and few-layer graphen. Carbon, Volume 145, Pages 175-186, 2019.

GURTNER, G.C., WERNER, S., BARRANDON, Y., LONGAKER, M.T.. Wound repair and regeneration. **Nature** 453, 314-321. 2008

HADI, M. K., WANG, X., PENG, Y., SANGARAJU, S., RAN, F. “**Functional Polymeric Membrane Materials: A Perspective from Versatile Methods and Modification to Potential Applications**”. Polymer Science & Technology. 2024.

JENKHONGKARN, R., PHISALAPHONG, M. “**Effect of Reduction Methods on the Properties of Composite Films of Bacterial Cellulose-Silver Nanoparticles**”, Polymers (Basel), vol. 15, no. 14, p. 2996, Jul. 2023.

LOPES, I. A. et al, Elaboration and characterization of biopolymer film with alginate and babassu coconut mesocarp. **Carbohydrate Polymers**, v.234, p. 1-10, 2020.

MANIGLIA, B.C., TESSARO, L., RAMOS, A.P., TAPIA-BLÁCIDO, D.R. “**Which plasticizer is suitable for films based on babassu starch isolated by different methods?**”, Food Hydrocoll, vol. 89, pp. 143–152, Apr. 2019.

MANIGLIA, B. C.; TESSARO, L.; LUCAS, A. A.; TAPIA-BLÁCIDO, D. R.; “**Bioactive films based on babassu mesocarp flour and starch**”. Food Hydrocolloids. v. 70, p. 383-391.

MENDES, D. T. S. L., CAVALCANTE, R. L., dos TAVARES, D., MACEDO, M. C. S. S., RESENDE, C. X. Adição simultânea de nanopartículas de Cu e Sr em nanotubos de TiO₂ sobre implantes de titânio: estudo de molhabilidade. **Conjecturas**, 21(5), 251-269. 2021.

MIRRES, A. C. d. M., VIEIRA, I. R. S., TESSARO, L., da SILVA, B. D., de ANDRADE, J. C., da SILVA, A. A., CARVALHO, N. M. F., de SOUSA, A. M. F., & CONTE-JUNIOR, C. A. (2024). **Nanocomposite Films of Babassu Coconut Mesocarp and Green ZnO Nanoparticles for Application in Antimicrobial Food Packaging.** Foods, 13(12), 1895. <https://doi.org/10.3390/foods13121895>.

OH, Sang Youn et al. “**FTIR analysis of cellulose treated with sodium hydroxide and carbon**

dioxide”. Carbohydrate Research, Amsterdam, v. 340, n. 3, p. 417-428, 2005.

OUZIR, M., BERNOUSSI, S.E., TABYAOUI, M., TAGHZOUTI, K., Almond oil: A comprehensive review of chemical composition, extraction methods, preservation conditions, potential health benefits, and safety. May 2021. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 20(4), DOI: 10.1111/1541-4337.12752.

RIZZI, S. C., UPTON, Z., BOTT, K., & DARGAVILLE, T. R. (2010). Recent advances in dermal wound healing: biomedical device approaches. Expert Review of Medical Devices, 7(1), 143–154. doi:10.1586/erd.09.57.

SANTA-MARÍA, C., LÓPEZ-ENRÍQUEZ, S., MONTSERRAT-DE LA PAZ, S., Geniz, I., REYES-QUIROZ, M. E., MORENO, M., ... & ALBA, G. (2023). Update on Anti-Inflammatory Molecular Mechanisms Induced by Oleic Acid. **Nutrients**, 15(1), 224.

SANTANA, Á. L.; MEIRELES, M. A. A. New Starches are the Trend for Industry Applications: A Review. **Food and Public Health**, v. 4, n. 5, p. 229–241, 2014.

SHIMAZU, A. A.; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; Efeitos plastificante e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca. **Serina, Ciências Agrárias**, v.28, n.1, p. 79-88, 2007.

SOTHORNVIT, R., KROCHTA, J. M. Plasticizers in edible films and coating. Ed. HAN, J.H. In: Innovations in Food Packaging. Elsevier, 2005.

SOUZA, T.R.P.d., OLENKA, L., PETERNELLA, W.S. (2020) A Study of Degradation in Vegetable Oils by Exposure to Sunlight Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy. **Materials Sciences and Applications**, 11, 678-691. <https://doi.org/10.4236/msa.2020.1110046>.

VAN DER MEI, H. C., BOS, R., and BUSSCHER, H. J., “**A reference guide to microbial cell surface hydrophobicity based on contact angles**”, Colloids Surf B Biointerfaces, vol. 11, no. 4, pp. 213–221, Jul. 1998, doi: 10.1016/S0927-7765(98)00037-X.