



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS PICOS
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

ALEX LEVY DA SILVA SOUSA

ANÁLISE DO GRAU DE HIDROFILICIDADE DE MEMBRANAS DE QUITOSANA
PRODUZIDAS A PARTIR DA INCORPORAÇÃO DE EXTRATO DA CASCA DO
CAULE DO *Anacardium microcarpum* Ducke

PICOS

2023

ALEX LEVY DA SILVA SOUSA

ANÁLISE DO GRAU DE HIDROFILICIDADE DE MEMBRANAS DE QUITOSANA
PRODUZIDAS A PARTIR DA INCORPORAÇÃO DE EXTRATO DA CASCA DO
CAULE DO *Anacardium microcarpum* Ducke

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo científico)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Licenciatura em Química
do Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Piauí, Campus Picos.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Isabella Cristhina
Gonçalves Costa.

Coorientador: Prof. Dr. Haroldo Reis Alves de
Macêdo.

PICOS

2023

ANÁLISE DO GRAU DE HIDROFILICIDADE DE MEMBRANAS DE QUITOSANA PRODUZIDAS A PARTIR DA INCORPORAÇÃO DE EXTRATO DA CASCA DO CAULE DO *Anacardium microcarpum* Ducke

Alex Levy da Silvas Sousa¹
Isabella Cristhina Gonçalves Costa²
Haroldo Reis Alves de Macêdo³

RESUMO

A pele é o órgão que protege o organismo interno contra agentes patogênicos do meio externo. Portanto, a rápida cicatrização de lesões se torna um alvo importante contra a exposição do organismo aos patógenos. Assim, a utilização de biopolímeros como curativos vem ganhando destaque, dentre eles, a quitosana. A quitosana é um biomaterial que possui alta compatibilidade biológica, biodegradabilidade, baixa toxicidade e efeito cicatrizante. O objetivo deste trabalho foi produzir um biomaterial à base de quitosana, incorporado com extrato hidroalcolólico da casca do caule do *Anacardium microcarpum* Ducke. As membranas foram caracterizadas quanto à coloração, homogeneidade, flexibilidade, espessura, molhabilidade e grau de intumescimento. As membranas mostraram-se transparentes, homogêneas e flexíveis com espessura média de 5 micrômetros. Com relação ao grau de intumescimento, houve absorção de água de 50%, perda de massa abaixo de 6% e durabilidade superior a 21 dias. Quanto a molhabilidade, as membranas apresentaram-se moderadamente hidrofílicas. Portanto, as membranas apresentaram características químicas e físicas promissoras para ser um biomaterial curativo.

Palavras-chave: Curativo; *Anacardium microcarpum* Ducke; Quitosana; Hidrofilicidade.

ABSTRACT

The skin is the organ that protects the internal organism against pathogenic agents from the external environment. Therefore, rapid wound healing becomes an important target against exposure of the organism to pathogens. Thus, the use of biopolymers as dressings has been gaining prominence, among them, chitosan. Chitosan is a biomaterial that has high biological compatibility, biodegradability, low toxicity and healing effect. The objective of this work was to produce a chitosan-based biomaterial, incorporated with a hydroalcoholic extract from the stem bark of *Anacardium microcarpum* Ducke. The membranes were characterized in terms of color, homogeneity, flexibility, thickness, wettability and degree of swelling. The membranes were transparent, homogeneous and flexible with an average thickness of 5 micrometers. In swelling, there was absorption of water of 50%, mass loss below 6% and durability greater than 21 days. As for wettability, the membranes were moderately hydrophilic. The membranes showed promising chemical and physical characteristics to be a curative biomaterial.

Keywords: Dressing; *Anacardium microcarpum* Ducke; Chitosan; Hydrophilicity.

Data de aprovação: 11/05/2023

¹ Graduando em Licenciatura em Química pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Brasil. alexlevysilva@gmail.com.

² Doutorado em Química pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil (2019). isabella.goncalves@ifpi.edu.br.

³ Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil (2012) Professor do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Piauí, Brasil. haroldoram@ifpi.edu.br.

1 INTRODUÇÃO

A quitosana é um polissacarídeo linear constituído por unidades de β -(1-4)-D-glucosamina ligadas e N-acetil-D-glucosamina. Além disso, é considerada um polímero de origem natural derivado do processo de desacetilação da quitina, e possui uma funcionalidade versátil devido à presença de grupos aminos responsáveis pelas propriedades do polímero (ANJOS, 2017; MACHADO, 2021).

Nesse sentido, a quitosana classifica-se como um biomaterial, pois possui diversas aplicações na área da saúde e uma dessas aplicabilidades está em curativos para ferimentos. Depois da celulose, a quitosana é um dos compostos orgânicos mais importantes da natureza, cujas suas propriedades vêm sendo exploradas em aplicações industriais (AZEVEDO *et al.*, 2007).

No estudo desenvolvido por Queiroz e Tomaz (2020), ao induzirem feridas na pele de animais, feridas diabéticas e feridas com infecção, identificaram que curativos à base de quitosana reduzem o tempo de cicatrização e aumenta a qualidade do tecido cicatricial, demonstrando seu potencial uso no tratamento de feridas.

Vários tipos de aditivos são misturados com a quitosana com a finalidade de produzir curativos mais eficientes, tais como: extrato da baga da uva Jacquez (ALMEIDA, 2017), casca de banana (KAMEL; ABD EL-MESSIEH; SALEH, 2017), nanopartículas (SILVA, Maria *et al.*, 2018), extrato hidroalcoólico de barbatimão (BARRAL, 2013), extratos foliares de *Combretum duarteanum* CAMBESS (SOUSA, 2017), extrato da casca do caju (LACERDA, MACEDO, MACEDO, 2020), extrato da *Aloe Vera* (SOUSA *et al.*, 2019b) e o extrato da casca do cajuí (PEREIRA *et al.*, 2021).

Este trabalho teve por objetivo produzir um biomaterial de baixo custo à base de quitosana incorporado com o extrato hidroetanólico da casca do caule do *Anacardium microcarpum* Ducke e caracterizá-lo, visando a sua aplicação como curativo quanto aos seus aspectos macroscópicos e hidrofiliidade. Neste trabalho, portanto, foram preparadas membranas de quitosana incorporadas com o extrato hidroetanólico da casca do caule do *A. microcarpum* em diferentes concentrações e membranas de quitosana sem a incorporação do extrato. Em seguida as mesmas foram submetidas a caracterizações quanto à sua espessura, aspectos macroscópicos, grau de intumescimento, degradação, molhabilidade por ângulo de contato e energia de superfície, características físicas e químicas que devem ser analisadas, pois são importantes para um curativo que visa ser aplicado em lesões epiteliais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A quitosana é um polissacarídeo renovável com assegurada utilização em alimentos e medicamentos. Ela pode sofrer aperfeiçoamentos físico-químicos, gerando derivados mais biocompatíveis, bioativos, atóxicos e ainda com propriedades antibacteriana, efeitos farmacológicos anticancerígenos e antivirais, entre outros (WANG *et al.*, 2020). Devido a suas boas propriedades que contribuem para a regeneração tecidual, este biomaterial pode ser utilizado como curativo para lesões em variadas formas, como hidrogéis, nanopartículas e membranas (PENG *et al.*, 2022).

O cajuí (*A. microcarpum*) é uma planta silvestre encontrada no cerrado e planaltos nas regiões costeiras do Brasil nos estados do Ceará, Maranhão, Pará, Piauí e Rio grande do Norte (VIEIRA; MAYO; DE ANDRADE, 2014). Essa espécie é comumente utilizada na medicina popular brasileira no tratamento de diversas doenças, dentre elas, inflamações, infecções e, até mesmo tumores. Essas ações benéficas se devem ao seu potencial antioxidante, possivelmente relacionado à presença de compostos fenólicos como a quercetina, ácido gálico e catequina,

identificados em seus extratos (MÜLLER *et al.*, 2017). Além dessa propriedade, seus compostos fenólicos promovem também atividades anti-inflamatória, antibacteriana, antifúngica e antitumoral (BAPTISTA, 2018; BAPTISTA *et al.*, 2018).

Embora o caju (*Anacardium occidentale* L.) possua uma riqueza em compostos fenólicos semelhantes ao cajuí e, conseqüentemente, bioatividade semelhantes (BAPTISTA; NASCIMENTO; PELUZIO, 2021) o extrato hidroetanólico do cajuí apresenta um efeito inibidor de proliferação microbiana superior ao extrato hidroetanólico do caju, segundo trabalho realizado por Ribeiro *et al.* (2021).

Lima *et al.* (2018) prepararam membranas de quitosana com o chá da casca do cajueiro que apresentaram uma ligeira diminuição da polaridade, aumento da componente dispersiva e menor intumescimento em relação à sem o chá. Apesar disso, as membranas com o chá tiveram aumento de polaridade e intumescimento proporcionalmente à quantidade de chá incorporada na membrana. Já as membranas produzidas por Silva, Monielle *et al.* (2018) foram feitas com extrato aquoso da casca do cajueiro e tiveram como resultados um aumento de hidrofiliabilidade por parte da adição do extrato em relação às sem extrato, observado pela diminuição do ângulo de contato, aumento da energia de superfície e valores maiores de intumescimento.

No trabalho de Pereira *et al.* (2021), membranas de quitosana incorporadas com extrato hidroalcoólico do cajuí tiveram aumento da hidrofiliabilidade segundo a molhabilidade e energia de superfície em relação às puras, características importantes que estão relacionadas à adesão e proliferação celular, já no intumescimento o resultado mostrou uma menor absorção de água em relação às puras. Quanto às características macroscópicas, as membranas produzidas por Pereira e colaboradores (2021) apresentaram espessura de 11 µm, mostraram-se homogêneas e transparentes, as membranas com os extratos apresentaram tons de vermelho tendendo para o marrom, com intensificação da tonalidade à medida que a quantidade de extrato aumentava.

3 METODOLOGIA

3.1 COLETA, PREPARO DO EXTRATO E DAS MEMBRANAS

3.1.1 Material vegetal

As cascas do caule de *A. microcarpum* foram coletadas em dois locais no município de Ipiranga do Piauí, estado do Piauí, Brasil (6°48'21,6"S, 41°51'39,6"W, altitude 410 m) e (6°47'42,0"S, 41° 52'15,6"W, altitude 404 m) na data de 24/02/2019. Os dados coletados foram cadastrados na plataforma SisGen (Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e Conhecimento Tradicional Associado) como patrimônio genético com número de registro ACE183B.

3.1.2 Preparo do extrato hidroetanólico

O material vegetal de *A. microcarpum* foi lavado e seco em estufa à 40 °C por 5 dias, em seguida foi moído em moinho manual para obtenção do material em pó.

Para a preparação do extrato hidroetanólico, 25g de pó foram extraídos com 250 mL de EtOH/H₂O 7:3 (v/v), em banho de ultrassom, três vezes por 20 minutos. Posteriormente, o material resultante foi submetido à filtração a vácuo, e em seguida seco, obtendo-se aproximadamente 7g de extrato bruto (ZANATTA; VILEGAS; EDRADA-EBEL, 2021).

3.1.3 Preparação das membranas de quitosana

Para o preparo das membranas foi utilizada a quitosana da empresa Êxodo Científica química fina indústria e comércio, Sumaré - SP, Brasil, tendo grau de desacetilação de 92,6%. Inicialmente misturou-se a quitosana em pó a concentração 2% (m/v) em uma solução de ácido láctico 2% (v/v), pondo-a, em seguida, para agitar durante 24 horas para a efetiva dissolução da quitosana. Em seguida, a solução foi submetida a duas filtrações para a remoção das impurezas, a primeira em um filtro com tela de nylon e a segunda em um filtro Mille Millipore® (45µm).

A partir da solução de quitosana filtrada foram produzidos dois tipos de membranas: membranas de quitosana sem extrato (P) e membranas incorporadas com o extrato hidroetanólico da casca do caule do *A. microcarpum* em três concentrações diferentes de massa de extrato por membrana: Ci 1 = 1,25 mg de extrato por membrana; Ci 2 = 2,5 mg de extrato por membrana; Ci 3 = 3,75 mg de extrato por membrana. As membranas com extrato foram produzidas com a dissolução das respectivas quantidades de extrato sólido em solução hidroetanólica 30/70 (água/etanol; v/v).

As soluções de quitosana, sem e com extrato, foram vertidas em placas de Petri num volume de 25 mL por placa, e postas para secar em estufa por 24 h, a uma temperatura de 50 °C. Após a secagem, as placas foram neutralizadas com uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) 5% (m/v) por um período de 4 h. Depois de neutralizadas, foram lavadas com água destilada, para a remoção de resquícios da neutralização, e postas para secar ao ar livre por 24h à temperatura ambiente, e então armazenadas para a realização das caracterizações (LACERDA; MACEDO; MACEDO, 2020).

3.2 CARACTERIZAÇÕES

3.2.1 Espessura

A espessura foi medida com o auxílio de um micrômetro da marca *Starret*®. As medições foram feitas em 5 pontos, atravessando a membrana. Os valores apresentados são uma média para a medição de 7 membranas de cada condição (P, Ci 1, Ci 2, Ci 3) (SANTOS, 2018).

3.2.2 Análise qualitativa

A análise qualitativa foi feita a partir de observações, a olho nu e táteis, de características macroscópicas, como: cor, transparência, homogeneidade e flexibilidade. As informações obtidas foram organizadas numa tabela.

3.2.3 Ensaio de intumescimento

Esta técnica tem por objetivo mensurar a quantidade de água absorvida pelas membranas num determinado tempo. Primeiramente, pesou-se as membranas secas e em seguida foram imersas em 400 mL de água destilada, mantidas em aquecimento em chapa aquecedora a aproximadamente 37 °C ao longo do tempo. De hora em hora as membranas foram pesadas até completar 8h. Após as 8h, as membranas foram pesadas em intervalos de 24h em 24h, até completar 144 horas (SOUSA, 2017). Este ensaio foi feito em triplicata. O cálculo da massa absorvida foi feito através da Equação (1):

$$GI (\%) = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \% \quad (1)$$

GI (%) = grau de intumescimento em porcentagem;
 m_u = massa úmida;
 m_s = massa seca.

3.2.4 Degradação

Após as 144 horas do ensaio de intumescimento, as membranas foram secas na estufa a 50 °C por 24 h. Depois, foi feita a pesagem da massa final e calculada a porcentagem da perda por meio da Equação (2):

$$D (\%) = \frac{m_s - m_f}{m_s} \times 100 \% \quad (2)$$

D (%) = degradação em porcentagem;
 m_s = massa seca;
 m_f = massa final.

3.2.5 Molhabilidade por ângulo de contato

A técnica utilizada foi a da gota sésil utilizando um goniômetro produzido pelo próprio Laboratório de Pesquisa em Biomateriais do IFPI – *Campus Picos*, sendo depositado uma gota de 20 µL, de 3 diferentes líquidos (água, formamida e glicerol) em pedaços de membranas de aproximadamente 2,0 cm x 2,0 cm. Essa caracterização foi feita em triplicata.

O comportamento da gota foi acompanhado e registrado em vídeo. Dos vídeos foram feitas imagens de 10 s em 10 s, até a estabilização da gota em 60 s. A medição do ângulo de contato foi feita com o auxílio do *software Surftens*, versão *DEMO*. Foram realizadas 7 medições em cada imagem, eliminou-se o maior e o menor valores obtidos, e dos 5 valores restantes calculou-se as médias aritméticas e desvios padrão para cada imagem com o auxílio do *software Excel* (SOUSA *et al.*, 2019b).

3.2.6 Energia de superfície

A energia de superfície consiste num somatório das forças intermoleculares que há entre o líquido e a superfície da membrana. Essa caracterização foi feita utilizando o método de Fowkes, Equação (3), que consiste num somatório das componentes polares e apolares presentes na interação com o líquido, fatores relacionados com a coesão ou dispersão da superfície, cujo o cálculo foi realizado com o auxílio do *software Excel* (SOUSA, *et al.*, 2019a).

$$\left(\frac{1 + \cos \theta}{2} \right) \times \left(\frac{\gamma_l}{\sqrt{\gamma_l^d}} \right) = \sqrt{\gamma_s^p} \times \sqrt{\frac{\gamma_l^p}{\gamma_l^d}} + \sqrt{\gamma_s^d} \quad (3)$$

γ_l = tensão superficial total do líquido-ar;
 γ_l^d = coordenada dispersiva da tensão superficial do líquido;
 γ_s^p = coordenada polar da tensão superficial do sólido em estudo;
 γ_l^p = coordenada polar da tensão superficial do líquido;
 γ_s^d = coordenada dispersiva da tensão superficial do sólido analisado;
 θ = ângulo de contato do líquido.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Espessura

As espessuras das membranas, com e sem extratos, apresentaram valores próximos de 5 μm , conforme apresentados na Tabela 1. Os valores apresentados são uma média de 35 medições em 7 membranas diferentes. Os elevados valores do desvio padrão se devem ao método utilizado na fabricação das membranas, que foi a evaporação de solvente, já apontado na literatura como causa dessa grande dispersão (ASSIS; SILVA, 2003; SANTOS, 2018; SOBRAL, 2000).

Tabela 1 - Média da espessura de cada tipo de membrana.

	P	Ci 1	Ci 2	Ci 3
Espessura média (μm)	5,40	5,14	5,09	4,86
Desvio Padrão	0,93	0,81	0,95	0,77

Fonte: Autores.

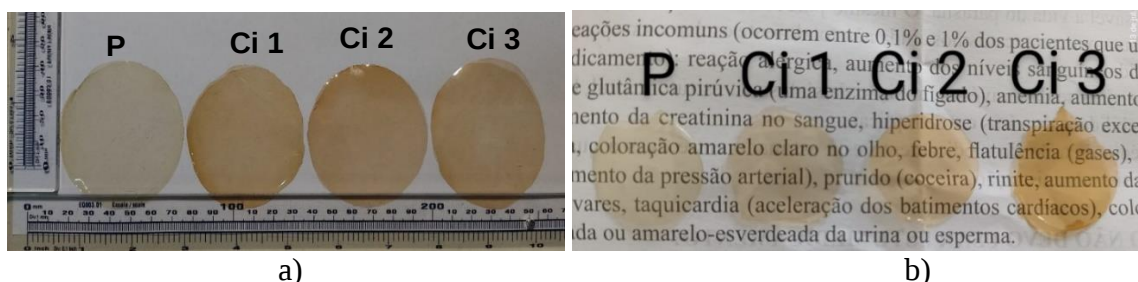
A espessura obtida foi satisfatória, visto que os curativos têm que possuir espessura compatível com a da pele, geralmente sendo menores que a derme (GONZAGA, 2018). A epiderme apresenta uma espessura que varia de 0,07 mm a 1,4 mm e a derme, que varia de 1 a aproximadamente 3 mm, dependendo da parte do corpo (DALLAN, 2005), e as membranas produzidas apresentaram espessuras inferiores aos respectivos valores, inferiores ainda à espessura do comercializado curativo para feridas com colágeno e alginato FIBRACOL*PLUS da *Systagenix Wound Management Limited*, que possui espessura de 1 mm (SANTOS, 2018).

4.2 Análise qualitativa

A análise qualitativa, quanto aos aspectos visuais e táteis das membranas, mostrou que as membranas de quitosana apresentaram cor amarelo creme, enquanto que as membranas com extrato mostraram tons de amarelo creme mais escuros, à medida que se aumentou a concentração do extrato na membrana, conforme mostra a Figura 1 a.

Todas as membranas apresentaram semelhanças quanto à transparência, homogeneidade e flexibilidade, o que corrobora com os resultados de Pereira *et al.* (2021). A Figura 1 b mostra a transparência das membranas.

Figura 1 - a) Membranas sem e com extratos de diferentes concentrações. b) Transparência das membranas produzidas.



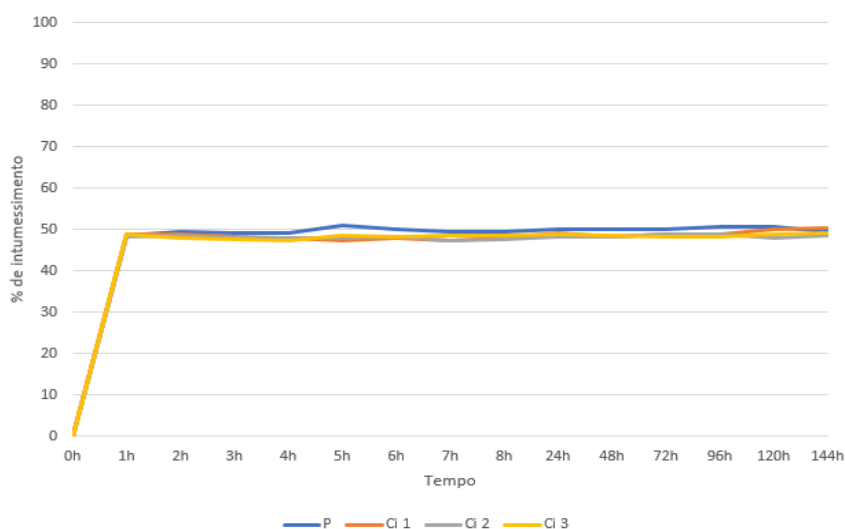
P = membrana sem extrato; Ci 1 = 1,25 mg/membrana; Ci 2 = 2,5 mg/membrana;
Ci 3 = 3,75 mg/membrana

Fonte: Autores.

4.3 Ensaio de intumescimento

O ensaio de intumescimento foi realizado através da imersão das membranas em água, à uma temperatura mantida a aproximadamente 37°C ao longo do tempo, por um período de 144 horas, onde foi observado um ganho de massa de aproximadamente 50% na primeira hora, tendo se mantido relativamente constante até o tempo final do tempo de estudo. Comportamento semelhante em todas as condições estudadas, conforme mostra a Figura 2.

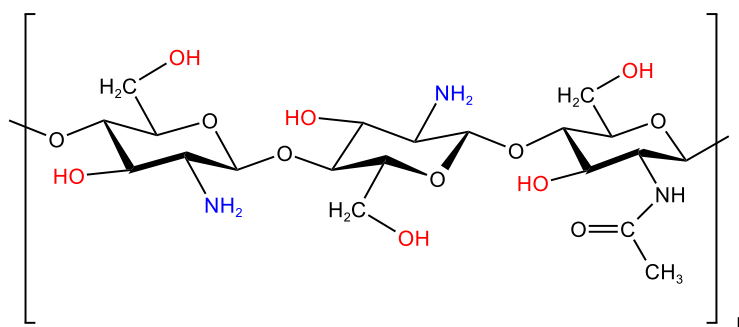
Figura 2 - Dinâmica do intumescimento das membranas sem e com extratos.



Fonte: Autores.

Tanto a estrutura da quitosana, quanto dos compostos presentes nos extratos, possuem grupos polares. A quitosana possui grupos amina (NH_2) e hidroxila (OH) (MACÊDO, 2009) como ilustra a Figura 3, e nos extratos do *Anacardium microcarpum* Ducke, há uma ricos em compostos fenólicos, que possuem grupos hidroxila (OH), dos quais dentre eles estão os ácidos fenólicos: ácido gálico, ácido cafeico, ácido clorogênico e ácido elágico; e os flavonoides: quercetina, quercitrina, catequina, epicatequina, isoquercitrina, rutina, kaempferol e kaempferol glicosídeo, cujas estruturas químicas estão representadas na Figura 4 (FILHO *et al.*, 2014).

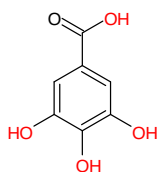
Figura 3 - Estrutura química da quitosana feita com o *software* Kingdraw (grupos hidroxila destacados em vermelho e grupos amina, em azul).



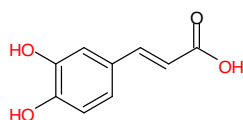
Fonte: Autores.

Figura 4 - Estruturas químicas dos compostos fenólicos, feitas com o *software* Kingdraw, presentes no extrato do *A. microcarpum* (grupos hidroxila em vermelho).

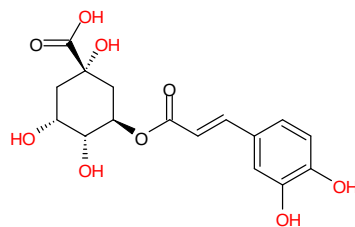
Ácidos fenólicos



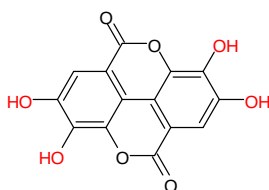
Ácido gálico



Ácido cafeico

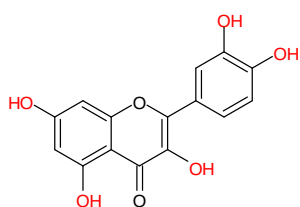


Ácido clorogênico

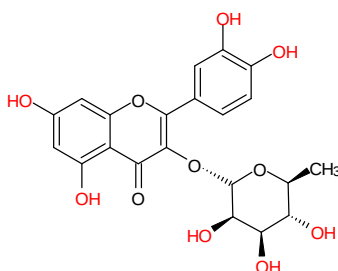


Ácido elágico

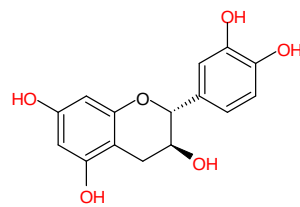
Flavonoides



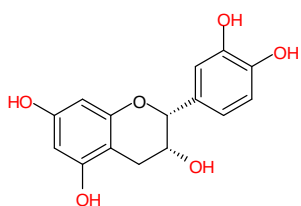
Quercetina



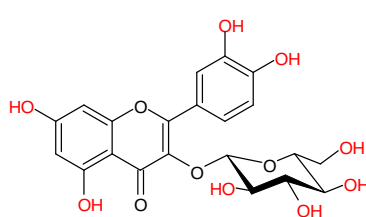
Quercitrina



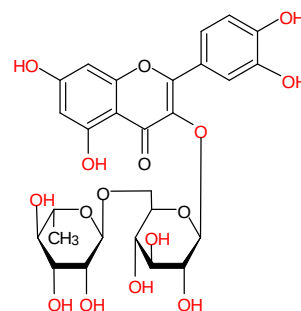
Catequina



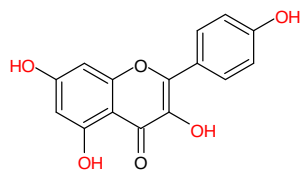
Epicatequina



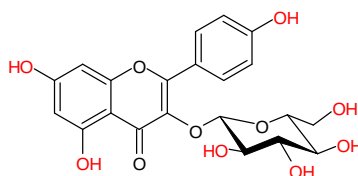
Isoquercitrina



Rutina



Kaempferol



Kaempferol glicosídeo

Fonte: Autores.

Os grupos polares (-OH e -NH₂) presentes nas estruturas químicas mostradas (Figuras 3 e 4) realizam ligações de hidrogênio, que é uma interação forte que ocorre quando um hidrogênio, ligado ou a flúor, ou a oxigênio ou a nitrogênio, é atraído por esses mesmos átomos (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2017), o que faz interagirem fortemente com a água. Porém, apesar da presença de grupos polares, tanto na quitosana quanto nos extratos das membranas Ci 1, Ci 2 e Ci 3, estas apresentaram uma absorção de água semelhante as das membranas de quitosana.

Um fator que pode ter contribuído para que isso tenha ocorrido foi o fato de ser utilizado uma menor concentração de material polimérico na composição das membranas Ci 1, Ci 2 e Ci 3, por conta do volume ocupado pelo extrato, o que, segundo Assis e Silva (2003), pode ter causado uma menor rugosidade e, conseqüentemente, uma diminuição da área disponível para realizar interações com a água. Além disso, durante o processo, as membranas com os extratos sofreram maior desgaste por perda de massa se comparadas com as membranas de quitosana, o que também pode ter contribuído para uma menor absorção das membranas com extrato (PEREIRA *et al.*, 2021).

4.4 Degradação

Ao analisar a degradação, percebeu-se que a perda de massa foi inferior a 6% em todos os casos, mostrando que houve um baixo desgaste das membranas, como aponta a Tabela 2.

Tabela 2 - Perda de massa das membranas após o intumescimento.

Composição	P	Ci 1	Ci 2	Ci 3
Massa perdida (%)	0,4	3,4	5,4	3,0

Fonte: Autores.

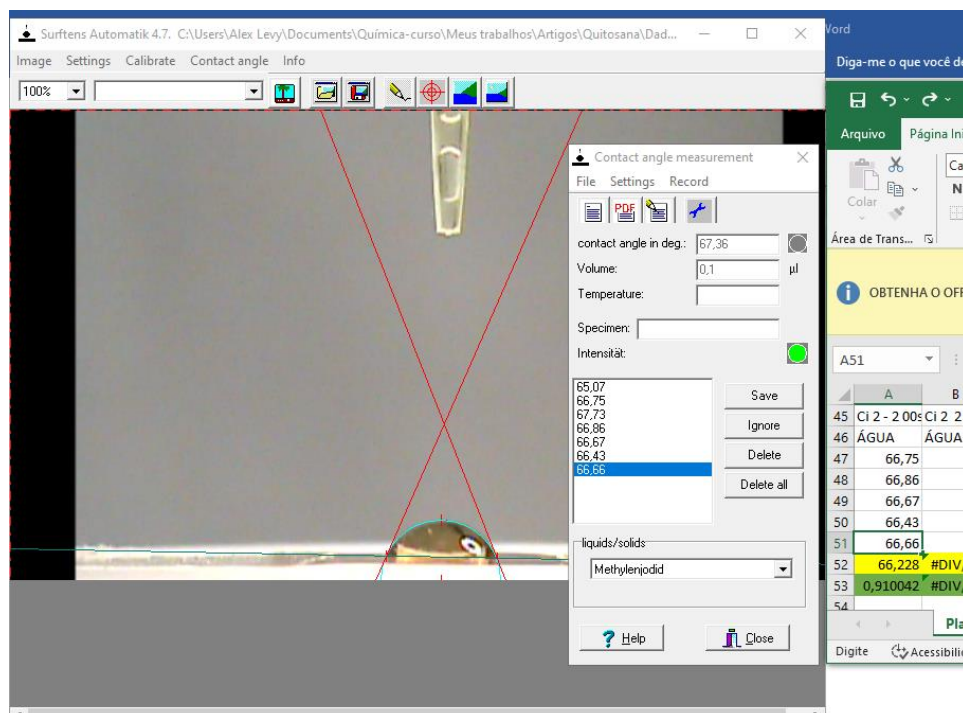
As membranas mantiveram-se inteiras em ambiente aquoso durante os 21 dias de teste. Esse prazo foi escolhido por ser suficiente (em média) para que o processo de cicatrização de feridas chegasse à sua etapa final da regeneração tecidual, que é a maturação, ou remodelagem, em que ocorre a tentativa de normalização da estrutura do tecido e o revestimento do ferimento por um novo epitélio, etapa que tem início por volta de 12 dias após a lesão (CAMPOS; BORGES-BRANCO; GROTH, 2007; MEDONÇA; COUTINHO-NETTO, 2009).

A maior perda de massa nas membranas Ci 1, Ci 2 e Ci 3, em relação à P, pode ter sido causado pela liberação de parte dos extratos em meio aquoso, ao qual estava imerso, possibilidade também sugerida por Pereira *et al.* (2021), visto que os compostos fenólicos neles presentes possuem caráter hidrofílico e podem ter se solubilizado na água devido ao grande número de hidroxilas em sua cadeia carbônica (MARTINS; LOPES; ANDRADE, 2013).

4.5 Molhabilidade por ângulo de contato

As membranas produzidas, com e sem extratos, apresentaram ângulos de contato inferiores a 90°, conforme as medições feitas no *software Surftens*, versão *Demo*, e os cálculos de média aritmética feitos pelo *software Excel*, caracterizando-as como sendo parcialmente hidrofílicas e de molhabilidade parcial (TOMAZ, 2017). A Figura 5 ilustra a medição do ângulo de contato de uma das imagens registradas por meio do *surftens* e o cálculo da média e desvio padrão pelo *Excel*.

Figura 5 – Medição, cálculo da média aritmética e do desvio padrão do ângulo de contato uma imagem pelo *Surftens* e *Excel*.



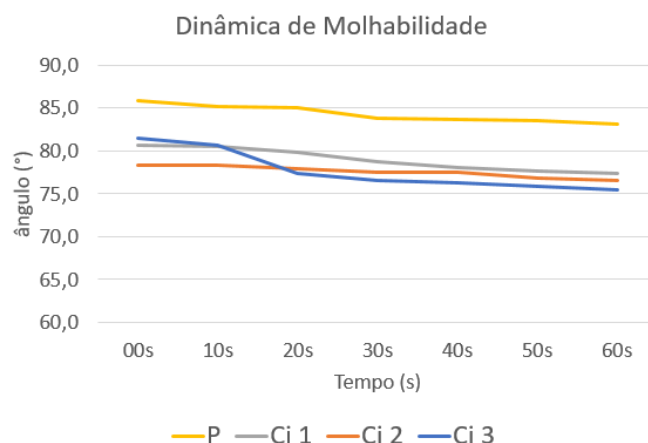
Surftens: A linha azul indica a superfície da membrana e a curvatura da gota do líquido. As linhas vermelhas indicam a inclinação da gota no ponto de contato com a membrana.

Excel: A fileira amarela realiza o cálculo da média aritmética. A fileira verde realiza o cálculo do desvio padrão.

Fonte: Autores.

Na Figura 5 é apresentado o comportamento do ângulo de contato com o decorrer do tempo até a estabilização em 60 segundos. Observa-se que nos 30 segundos iniciais tem-se os maiores valores de ângulo de contato e que o mesmo tende a diminuir a partir de então estabilizando-se em aproximadamente 76° nas membranas com extrato enquanto que na membrana de quitosana o valor do ângulo de contato ficou em aproximadamente 83°.

Figura 5 - Dinâmica da molhabilidade por ângulo de contato das membranas utilizando a água.



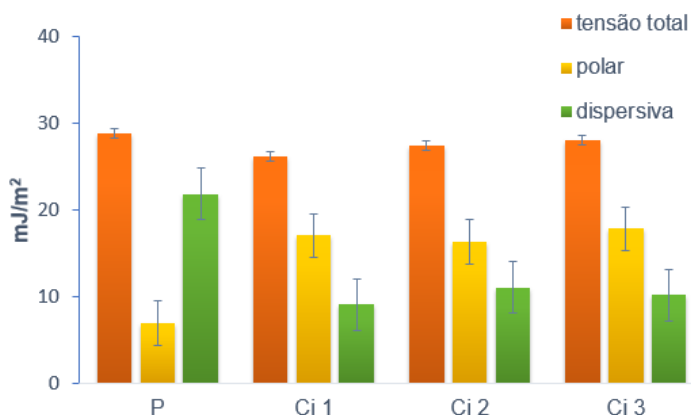
Fonte: Autores.

As membranas com extratos apresentaram hidrofiliicidade aproximadamente iguais, porém, as membranas com extratos apresentaram ângulos de contato ligeiramente menores em relação às membranas de quitosana, isso por causa do maior número de grupos hidroxila, dos compostos fenólicos presentes nos extratos incorporados nas membranas Ci 1, Ci 2 e Ci 3. Também se percebeu uma diminuição do ângulo de contato da membrana Ci 1 para a Ci 3, isso se deu por conta do aumento da concentração do extrato utilizado nas respectivas membranas.

4.6 Energia de superfície

A energia de superfície é uma propriedade que está relacionada com a adesão/ligação da superfície do material, causada pela interação entre os átomos livres do polímero e uma outra substância, de forma que, quanto maior a energia de superfície, maior é a adesão (MACÊDO, 2012). Essa característica é importante, pois está relacionada com o favorecimento de adesão das células à superfície do material (COUTINHO; ELIAS, 2010). A Figura 6, mostra os valores medidos quanto a energia de superfície das membranas produzidas.

Figura 6 - Energia de superfície das membranas de quitosana e com extratos.



Fonte: Autores.

Observou-se uma mudança do caráter dispersivo para o caráter polar quando adicionado extrato à composição da membrana. O aumento da componente polar, em relação à sem extrato, ressalta o resultado obtido pela molhabilidade, na qual as membranas com extratos mostraram ser ligeiramente mais hidrofílicas. A tensão superficial se mostrou um pouco maior na membrana de quitosana, porém nas membranas de condições Ci 1, Ci 2, Ci 3, houve uma tendência crescente, devido ao aumento da concentração do extrato. Assis e Silva, (2003) explicam que a concentração de extrato pode interferir na rugosidade das membranas e por consequência diminuir a interação da membrana com a água, fenômeno também observado no ensaio de intumescimento.

5 CONCLUSÃO

Observou-se a influência da adição do extrato nas propriedades físico-químicas das membranas. Foi notório um aumento da hidrofiliicidade nas membranas com extratos, à medida que o extrato se concentrava. Esse aumento de hidrofiliicidade é um ponto positivo para que ocorra a absorção de líquidos e a acomodação de células nas membranas. Todas as membranas mantiveram-se inteiras e flexíveis durante toda manipulação no tempo de estudo.

Os resultados obtidos mostraram que as membranas produzidas, sem e com o extrato de *A. microcarpum*, possuem propriedades promissoras e compatíveis com a possibilidade de exercerem a função de curativo. Porém, para que haja uma comprovação definitiva do verdadeiro potencial de aplicação dessas membranas como curativos, ainda se faz necessário a realização de trabalhos no âmbito biológico para analisar o comportamento celular em sua superfície.

REFERÊNCIAS

ANJOS, Francisca de Fátima dos. **Preparo e caracterização de membranas de quitosana com incorporação do extrato hidroalcoólico liofilizado do *Chenopodium ambrosioides* para aplicação como biomaterial**. 2017. Dissertação (Mestre em Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Instituto Federal do Piauí, Teresina, 2017.

ALMEIDA, Leiliane Aparecida de. **Membrana de quitosana incorporada com extrato de uva jacquez para tratamento de feridas cutâneas**. 2017. Dissertação (Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais) – Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais. Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2017.

ASSIS, Odilio B. G.; SILVA, Valmir L. da. Caracterização estrutural e da capacidade de absorção de água em filmes finos de quitosana processados em diversas concentrações. **Polímeros**, v. 13, p. 223–228, 1 dez. 2003.

ATKINS, Peter; JONES, Loretta; LAVERMAN, Leroy. **Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente**. 7. ed., Porto alegre: Bookman, 2018.

AZEVEDO, V. V. C.; CHAVES, S. A.; BEZERRA, D. C.; LIA FOOK, M. V.; COSTA, A. C. F. M. Quitina e Quitosana: aplicações como biomateriais. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 2, n. 3, p. 27-34, 2007.

BAPTISTA, Anderson Barbosa. **extrato de folhas de caju (*Anacardium occidentale* L.) e de cajuí (*Anacardium microcarpum* D.): prospecção fitoquímica, atividade antioxidante, antimicrobiana e anti-inflamatória, *in vitro* e *in vivo***. 2018. Tese (*Doctor Scientiae*) – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Nutrição, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

BAPTISTA, Anderson Barbosa; GONÇALVES, Reggiani Viela; BRESSAN, Josefina; PELÚZIO, Maria do Carmo Gouveia. Antioxidant and Antimicrobial Activities of Crude Extracts and Fractions of Cashew (*Anacardium occidentale* L.), Cajui (*Anacardium microcarpum*), and Pequi (*Caryocar brasiliense* C.): A Systematic Review. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2018, p. 1–13, 2018.

BAPTISTA, Anderson Barbosa; NASCIMENTO, Guilherme Nobre Lima do.; PELUZIO, Maria do Carmo Gouveia. Atividade antioxidante e microbiológica *in vitro* de extratos de folhas de *Anacardium occidentale* L. **REVISTA CEREUS**, v. 13, n. 3, p. 83–98, 2021.

BARRAL, Sumara Marques. **O uso do extrato hidroalcoólico de barbatimão associado ao filme de quitosana para a cicatrização de feridas cutâneas complexas em ratas**. 2014. Tese (Doutor em Medicina) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Aplicadas à Cirurgia

e à Oftalmologia da Faculdade de Medicina, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

CAMPOS, Antonio Carlos Ligoeki; BORGES-BRANCO, Alessandra; GROTH, Anne Karoline. Cicatrização de feridas. **ABCD. Arquivos Brasileiros de Cirurgia Digestiva (São Paulo)**, v. 20, n. 1, p. 51–58, mar. 2007.

COUTINHO, Murilo Pereira; ELIAS, Carlos Nelson. Rugosidade e molhabilidade do titânio usado em implantes dentários com superfícies tratadas. **Revista Brasileira de Odontologia**, v. 66, n. 2, p. 234, 26 mar. 2010.

DALLAN, Paula Rulf Marreco. **Síntese e caracterização de membranas de quitosana para aplicação na regeneração de pele**. 2005. Tese (Doutor em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade estadual de Campinas, Campinas, 2005.

FILHO, Valter Menezes Barbosa; WACZUK, Emily Pansera; KAMDEM, Jean Paul; ABOLAJI, Amos Olalekan; LACERDA, Sirleis Rodrigues; COSTA, José Galberto Martins da; MENEZES, Irwin Rose Alencar de; BOLIGON, Aline Augusti; ATHAYDE Margareth Linde; ROCHA, João Batista Teixeira da; POSSER Thaís. Phytochemical constituents, antioxidant activity, cytotoxicity and osmotic fragility effects of Caju (*Anacardium microcarpum*). **Industrial Crops and Products**, v. 55, p. 280–288, 1 abr. 2014.

GONZAGA, Virgínia de Alencar Muniz. **Desenvolvimento de membranas porosas à base de quitosana e laponita para tratamento de lesões de pele**. 2018. Tese (Doutora em Ciência) – Físico-Química, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

KAMEL, Nagwa A.; ABD EL-MESSIEH, Salwa L.; SALEH, Nevee M. Chitosan/banana peel powder nanocomposites for wound dressing application: Preparation and characterization. **Materials Science and Engineering: C**, v. 72, p. 543–550, mar. 2017.

LACERDA, Graziella Joaquina Veloso de; MACEDO, Haroldo Reis Alves; MACEDO, Marina de Oliveira Cardoso. (2020). Incorporação de extrato alcoólico de *Anacardium occidentale* à membranas de quitosana. In: CONGRESSO BRASILEIRO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 1., 2020, **Anais [...]**, 2020. *Online*.

LIMA, Fagner Rodrigues de; MACÊDO, Marina de Oliveira Cardoso; MACÊDO, Haroldo Reis Alves de; SOUSA, Maura Vieira dos Santos. Desenvolvimento e caracterização de membrana de quitosana incorporada com chá da casca do cajueiro. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE ÓRGÃOS ARTIFICIAIS E BIOMATERIAIS, 10.; CONGRESSO DA SOCIEDADE LATINO AMERICANA DE BIOMATERIAIS, ÓRGÃOS ARTIFICIAIS E ENGENHARIA DE TECIDOS – SLABO, 15., 2018, João Pessoa. 2018. p. 428 – 434.

MACÊDO, Marina de Oliveira Cardoso. **Modificação de membranas de quitosana por plasma para uso biológico**. 2009. Dissertação (Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais do Centro de Ciência Exata e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

MACÊDO, Haroldo Reis Alves de. **Tratamento térmico de titânio e suas consequências sobre as propriedades físico-químicas e de biocompatibilidade**. 2012. Tese (Doutor em

Ciências e Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

MACHADO, Maria Laura Quadros. **Síntese e caracterização de biofilme à base de quitosana e glicerol para aplicação em embalagens de alimentos**. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Química) – Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2021.

MARTINS, Cláudia Rocha; LOPES, Wilson Araújo; ANDRADE, Jailson Bittencourt de. Solubilidade das substâncias orgânicas. **Química Nova**, v. 36, n. 8, p. 1248–1255, 2013.

MENDONÇA, Ricardo José de; COUTINHO-NETTO, Joaquim. Aspectos celulares da cicatrização. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, v. 84, n. 3, p. 257–262, jul. 2009.

MÜLLER, Katiane Raquel; MARTINS, Illana Kemmerich; RODRIGUES, Nathane Rosa; CRUZ, Litiele Cezar da; FILHO, Valter Menezes Barbosa; MACEDO, Julianna Echeverria; SILVA, Gustavo Felipe da; KAMDEM, Jean Paul; MENEZES, Irwin Rose Alencar de; FRANCO Jeferson Luis; POSSER, Thaís. *Anacardium microcarpum* extract and fractions protect against paraquat-induced toxicity in *Drosophila melanogaster*. **EXCLI Journal**, v. 16, p. 302–312, 20 mar. 2017.

PENG, Wei; LI, Dan; DAI, Kaili; WANG, Yixi; SONG, Ping; LI Hairui; TANG, Pei; ZHANG, Zhenyu; LI, Zhengyong; ZHOU, Yuchi; ZHOU, Changchun. Recent progress of collagen, chitosan, alginate and other hydrogels in skin repair and wound dressing applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 208, p. 400–408, mai. 2022.

PEREIRA, Ronaldo Coelho; SOUSA, Maura Vieira dos Santos; MACÊDO, Marina de Oliveira Cardoso; VIANA, Vicente Galber Freitas; MACÊDO, Haroldo Reis Alves de. Caracterização de filmes de quitosana produzidos a partir da incorporação de extrato de *Anacardium microcarpum* Ducke. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 51376–51394, mai. 2021.

QUEIROZ, Bárbara Brito de; TOMAZ, Alecsandra Ferreira. Eficácia do curativo de quitosana na cicatrização: uma revisão integrativa. **TEMA - Revista Eletrônica de Ciências (ISSN 2175-9553)**, v. 21, n. 34, 2020.

RIBEIRO, Nara Calça; NETO, Francisco Edmar Moreira de Lima; NOBRE, Alyne Rodrigues de Araújo; SILVA, Durcilene Alves da; MAYO, Simon Joseph; ANDRADE, Ivanilza Moreira de. Potential antioxidant and antibacterial bioactivity of leaf and stem bark extracts in wild cashew (*Anacardium occidentale* L.) populations from coastal Piauí, northeastern Brazil. **Feddes Repertorium**, v. 132, n. 2, p. 141–157, 25 mai. 2021.

SANTOS, Elaine Pereira dos. **Membranas de quitosana/bioativos naturais com atividade antimicrobiana para tratamento de lesões cutâneas**. 2018. Dissertação (Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

SOBRAL, Paulo José do Amaral. Influência da espessura de biofilmes feitos à base de proteínas miofibrilares sobre suas propriedades funcionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 6, p. 1251–1259, jun. 2000.

SILVA, Maria Michelle Pereira; AGUIAR, Maria Isis Freire de; RODRIGUES, Andrea Bezerra; MIRANDA, Maira Di Ciero; ARAÚJO, Michell Ângelo Marques; ROLIM, Isaura Letícia Tavares Palmeira; SOUZA, Angela Maria Alves e. Utilização de nanopartículas no tratamento de feridas: revisão sistemática. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, v. 51, n. 0, 8 jan. 2018.

SILVA, Monielle dos Santos; LACERDA, Graziella Joaquina Veloso de; MACÊDO, Marina de Oliveira Cardoso; MACÊDO, Haroldo Reis Alves de. Membranas de quitosana incorporadas com extrato aquoso de *Anacardium occidentale*. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE ÓRGÃOS ARTIFICIAIS E BIOMATERIAIS, 10.; CONGRESSO DA SOCIEDADE LATINO AMERICANA DE BIOMATERIAIS, ÓRGÃOS ARTIFICIAIS E ENGENHARIA DE TECIDOS – SLABO, 15., 2018, João Pessoa, 2018. p. 311 – 318.

SOUSA, Francisca Mairana Silva de. **Preparo e caracterização de membranas de quitosana com extratos foliares de *Combretum duarceanum* Cambess para aplicações biológicas**. 2017. Dissertação (Mestre em Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Teresina, 2017.

SOUSA, Maura Vieira dos Santos; LIMA, Fagner Rodrigues; MACÊDO, Haroldo Reis Alves de; MACÊDO, Marina de Oliveira Cardoso. Estudo da incorporação de LCC à Membrana de Quitosana. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 2, n. 4, p. 2762–2777, 2019a.

SOUSA, Maura Vieira dos Santos; PEREIRA, Ronaldo Coelho; MACÊDO, Haroldo Reis Alves de; MACÊDO, Marina de Oliveira Cardoso. Produção e caracterização de membranas de quitosana com *Aloe vera*. In: WORKSHOP DE BIOMATERIAIS, ENGENHARIA DE TECIDOS E ÓRGÃOS ARTIFICIAIS, 6., 2019, São Paulo. 2019b.

TOMAZ, Alecsandra Ferreira. **Desenvolvimento de membrana de quitosana/1,4 naftoquinona para liberação controlada: curativo para feridas oncológicas**. 2017. Tese (Doutor em Engenharia de Processos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

VIEIRA, Márcia; MAYO, Simon Joseph; ANDRADE, Ivanilza Moreira de. Geometric morphometrics of leaves of *Anacardium microcarpum* Ducke and *A. occidentale* L. (*Anacardiaceae*) from the coastal region of Piauí, Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 37, n. 3, p. 315–327, 1 jul. 2014.

WANG, Wenqian; MENG, Qiuyu; LI, Qi; LIU, Jinbao; ZHOU, Mo; JIN, Zheng; ZHAO, Kai. Chitosan Derivatives and Their Application in Biomedicine. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 2, 12 jan. 2020.

ZANATTA, Ana C.; VILEGAS, Wagner; EDRADA-EBEL, RuAngelie. Corrigendum: UHPLC-(ESI)-HRMS and NMR-Based Metabolomics approach to access the seasonality of *Byrsonima intermedia* and *Serjania marginata* from brazilian cerrado flora diversity. **Frontiers in Chemistry**, v. 9, 29 out. 2021.