



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

MANUELA NÁTALY ALMONDES

**ESTUDO DAS MEMBRANAS DE QUITOSANA PRODUZIDAS A PARTIR DA
INCORPORAÇÃO DE EXTRATO DE *Anacardium occidentale* L.**

PICOS – PI

2022

MANUELA NÁTALY ALMONDES

**ESTUDO DAS MEMBRANAS DE QUITOSANA PRODUZIDAS A PARTIR DA
INCORPORAÇÃO DE EXTRATO DE *Anacardium occidentale* L.**

Trabalho de Conclusão de Curso 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: Profa. Dra. Isabella Cristhina
Gonçalves Costa

FICHA CATALOGRÁFICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS PICOS
COORDENAÇÃO DE BIBLIOTECA
SERVIÇO DE PROCESSOS TÉCNICOS

A452e Almondes, Manuela Nátaly

Estudo das membranas de quitosana produzidas a partir da incorporação de extrato de *Anacardium occidentale* L. / Manuela Nátaly Almondes. — 2022.
50 f.: il.

Monografia (Graduação em Licenciatura em Química) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Picos, 2022.

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

1. Química farmacêutica. 2. Biomaterial. 3. Produto natural.
I. Título.

CDD: 615.19

MANUELA NÁTALY ALMONDES

ESTUDO DAS MEMBRANAS DE QUITOSANA PRODUZIDAS A PARTIR DA
INCORPORAÇÃO DE EXTRATO DE *Anacardium occidentale* L.

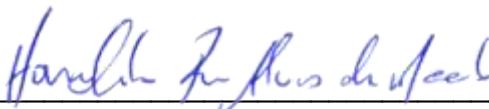
Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Licenciatura em Química
do Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Piauí, Campus Picos.

Aprovada em: 05 / 06 / 2022.

BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Isabella Cristhina Gonçalves Costa (Orientadora)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)



Prof. Dr. Haroldo Reis Alves de Macêdo
Instituto Federal do Piauí (IFPI)



Profa. Dra. Elcilene Alves de Sousa
Universidade Estadual do Piauí (UESPI)

*Aos pais meus pais Francisco e Joselita, que não mediram esforços
e me deram total apoio ao longo desta caminhada, meus
grandes exemplos de amor e perseverança, a Maria Sofia (in
memoria), por ser meu anjo da guarda.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente a Deus, por ser meu guia, ser meu refúgio, ser minha fortaleza, minha força para enfrentar as dificuldades, não desanimar e seguir em frente com muita fé e determinação me mostrando que eu sou capaz.

A minha orientadora Prof. Dra. Isabella Cristina, por todo apoio, incentivo e ensinamentos. Foi muito gratificante e enriquecedor ser sua orientanda, é um exemplo de pessoa e profissional, é uma inspiração para mim.

Ao IFPI- *Campus Picos*, por me proporcionar viver experiências e momentos únicos, conhecer pessoas tão agradáveis e acolhedoras.

Ao Prof. Haroldo Reis por ter me permitido fazer parte desse trabalho. Trabalhar no Laboratório de Pesquisa em Biomateriais foi uma experiência enriquecedora, despertando a curiosidade e o interesse pela pesquisa.

A todos os professores que cruzaram meu caminho, pelo incentivo, pela partilha de conhecimento, pelos ensinamentos para a vida.

Aos meus colegas e amigos do LaBioMat, pelos momentos de descontração e de ajuda, vocês foram importantes para a realização deste trabalho.

Aos meus pais, Francisco e Joselita por toda educação, amor, paciência, compreensão e incentivo a ir atrás dos meus objetivos. Obrigada por estarem sempre torcendo por mim, darei muito orgulho a vocês

Aos meus amigos Arthur e Beatriz, pela amizade, companheirismo e paciência que sempre tem comigo. Desde o início da graduação participando ativamente de cada momento, tornando mais leves e agradáveis, sem vocês essa caminhada seria muito mais difícil.

Ao meu namorado, Danilo Breno, por me incentivar, apoiar e fazer acreditar no meu potencial, buscando sempre transformar meus momentos de tristeza e angustia em alegria e comemoração.

Aos meus familiares que sempre estiveram ao meu lado.

MEU MUITO OBRIGADO!

*“A sua fé te trouxe até aqui. E vai ser justamente ela que vai te
fazer voar ainda mais. Não perca o foco”.*

Rafael Magalhães

Confie a Javé o que você faz, e seus projetos se realizarão

Provérbios 16:3

RESUMO

Estudos realizados, especialmente no contexto das ciências da saúde, apontam que as plantas medicinais têm se destacado na busca por novos fármacos, por apresentar inúmeros benefícios terapêuticos. Nesse contexto, o presente trabalho apresenta o desenvolvimento do biomaterial incorporado a extrato da casca do caule de *Anacardium occidentale* L., com o potencial para ser utilizado na cicatrização de ferimentos cutâneos. As membranas de quitosana incorporadas ao extrato foram preparadas pelo método de evaporação de solventes (*casting*), nas proporções de 1,25, 2,5 e 3,75 e avaliadas qualitativamente pelo aspecto visual, sendo caracterizados quanto a cor, transparência, flexibilidade, espessura, grau de intumescimento, ângulo de contato e energia de superfície. As membranas C1, C2 e C3, apresentam semelhanças quanto a homogeneidade, transparência e flexibilidade. Já com relação a coloração, foi possível observar que o aumento da concentração proporciona o escurecimento, das membranas quando comparado com a membrana P. Os valores de espessuras estão compatíveis com os catalogados na literatura para curativos cutâneos. O bioativo natural proporcionou melhorias no grau de absorção de água, favorecendo o processo de cicatrização, a sendo a membrana C1 a que apresentou o maior grau de absorção (51,5%-57,3%). As membranas de quitosana apresentam ângulo de contato de 78,2° a 85,2°, o que as classificaram como um material parcialmente hidrofílico. A análise da energia de superfície permitiu observar que a adição do extrato proporcionou o aumento da polaridade, uma vez que, o extrato apresenta compostos fenólicos. Para tanto, os resultados obtidos demonstram que as membranas incorporadas ao extrato de *A. occidentale* L., são biomaterias potencialmente úteis como curativo para lesões.

Palavras-chaves: Biomaterial; curativos; produto natural.

ABSTRACT

Studies, especially in the context of health research, indicate that medicinal plants benefit from new medicines, as they have therapeutic benefits. In this, the present presents the development of the biomaterial incorporated into an extractor of the stem bark of *Anacardium occidentale* L., with potential work to be used in the cutaneous treatment solution. As the membranes, by the aspect incorporated into the resource, were prepared for the evaporation of solvents (casting), in the proportions of methods of 1.25, 2.5 and 3.75 and visual resources, being characterized in terms of color, transparency, flexibility, thickness, degree of swelling, contact design and surface energy. As membranes C1, C2 and C3, they have similarities in terms of homogeneity, transparency and flexibility. Regarding the membrane, it was possible to observe that the increase in concentration provides the darkening when compared with the thickness values compared with those cataloged in the dressing cutting literature. The natural bioactive, improved in the degree of water absorption favoring the healing process, being C1 the one that presented the degree of absorption (51.5%-57.3%). The chitosan membranes contact angle from 78.2° to 85.2°, which was classified as a hydrophilic material. The analysis of energy improvement of the analysis of the analysis of phenolic energy, since, the increase of the analysis of phenolic energy To this end, the results obtained are useful, as the membranes inside the dressing of *A. occidentale* L useful.

Keywords: Biomaterial; dressings; natural product.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Divisão dos biomaterias	18
Figura 2 - Representação da estrutura primaria da quitina, onde n é o grau de polimerização	19
Figura 3 - Representação da desacetilação da quitina, originando a quitosana	20
Imagem 1 - <i>Anacardium occidentale</i> L	24
Imagem 2 - Caju	24
Figura 4 - Estrutura básica dos flavonoide	27
Figura 5 - Compostos isolados nas cascas do caule de <i>Anacardium occidentale</i> L	28
Figura 6 - Fluxograma de produção da membrana de quitosana	30
Figura 7 - Fluxograma de produção das membranas de quitosana incorporada ao extrato de <i>Anacardium occidentale</i> L	31
Figura 8 - Micrometro da Starrett utilizado nas medições de espessura (a) e representação esquemática dos pontos ao longo da membrana (b)	32
Figura 9 - Demonstração da obtenção do ângulo de contato	34
Figura 10 - Membranas de quitosana produzidas com as diferentes concentrações do extrato	37
Figura 11 - Valores médios de ângulo de contato das membranas	39
Figura 12 - Valores médios da energia de superfície	40
Figura 13 - Grau de intumescimento das membranas nas diferentes	41
Figura 14 - Degradação das membranas após 144 horas	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Divisão taxinômica de <i>A. occidentale</i> L.	23
Quadro 2 – Codificação das membranas incorporadas ao extrato	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Energia de Superfície do líquidos utilizados	35
Tabela 2 - Aspecto macroscópico visual e tátil das membranas	36
Tabela 3 - Resultado do ensaio de espessura das membranas	38
Tabela 4 - Perda de massa das membranas após 144 dias	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C1 - Membrana incorporada à 1,25mg de extrato

C2 - Membrana incorporada à 2,5mg de extrato

C3 - Membrana incorporada à 3,75mg de extrato

DP - Desvio-Padrão

LaBioMat - Laboratório de Biomateriais

MS - Ministério da Saúde

P - Membrana sem adição do Extrato

PIBIC - Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica

pH - Potencial Hidrogeniônico

PNPIC - Política Nacional de Práticas Integrativas e Complementares

PNPMF - Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos

SUS - Sistema Único de Saúde

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Grau Celsius
%	Porcentagem
mm	Milímetro
μm	Micrómetro
®	Marca registrada
mg	Miligramma
mL	Mililitro
θ	Ângulo de contato

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.2. OBJETIVOS.....	16
1.2.1. Objetivo Geral.....	16
1.2.2. Objetivo específicos	16
1.3 JUSTIFICATIVA	17
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
4.1 BIOMATERIAIS.....	18
4.2. QUITINA E QUITOSANA	19
4.2.1 Quitosana e a incorporação de extratos vegetais	21
4.3 PLANTAS MEDICINAIS	22
4.4. ESPÉCIE VEGETAL <i>Anacardium occidentale</i> Linn	22
4.4.2. Estudo químico da <i>A. occidentale</i> L.....	26
5 METODOLOGIA	29
5.1 PREPARAÇÃO DO EXTRATO	29
5.2. PREPARAÇÃO DOS FILMES DE QUITOSANA.....	29
5.2.1 Membranas de quitosana sem incorporação do extrato	29
5.2.2 Membranas de quitosana com incorporação do extrato	30
5.3 CARACTERIZAÇÃO DAS MEMBRANAS	31
5.3.1. Análise Macroscópica Qualitativa.....	32
5.3.2. Espessura	32
5.3.3. Intumescimento.....	32
5.3.4. Molhabilidade	33
5.3.4.1 Ângulo de contato	33
5.3.5. 2. Energia de Superfície	34
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
6.1. ANÁLISE MACROSCÓPICA QUALITATIVA	36
6.2. ESPESSURA.....	37
6.5 MOLHABILIDADE POR ÂNGULO DE CONTATO	38
6.6 ENERGIA DE SUPERFÍCIE	40
6.3. GRAU DE INTUMESCIMENTO	41
7. CONSIDERAÇÃO FINAL	44
REFERÊNCIAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

A utilização de plantas medicinais está presente no mundo desde a origem da civilização. A relação existente entre o indivíduo e as plantas, ocorre através da etnobotânica, que pode ser definida como o estudo das sociedades humanas, passadas e presentes, ligado aos conhecimentos ecológicos. No Brasil, a influência vem sobretudo das populações indígenas locais, quilombolas e europeias nos tempos de colonização do território (NOVAES, T., NOVAES, A., 2021; XAVIER *et al*, 2021).

As espécies vegetais, além de seu uso na medicina tradicional, têm se destacado como um dos mais importantes organismos com um forte potencial para a produção de diversos metabólicos bioativos, com amplo campo de aplicações. A constatação da diversidade metabólica apresentada pelas plantas associadas à necessidade da descoberta de novos produtos com valor biotecnológico, estimula cada vez mais novos estudos (DUTRA *et al.*, 2016; NEWMAN; CRAGG, 2012)

O nordeste do país dispõe de uma biodiversidade extensa, as espécies de vegetações nativas são demasiadamente usadas pelas comunidades locais, na medicina popular, esse conhecimento é passado por meio das gerações (SOUZA *et al*, 2019).

Anacardium occidentale L., conhecida popularmente como cajueiro, pertence à família Anacardiaceae, apresenta cerca de 74 gêneros e 400 espécies, é uma planta de grande porte, que se desenvolve em solos secos e arenosos do nordeste do Brasil, especialmente nos estados do Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte. Sua estrutura apresenta o caule resinoso, copas frondosas e folhas simples, possui pseudofruto, comumente conhecido por caju, e castanha, que é o seu fruto (COSTA, 2021; PADILHA, 2019).

A literatura relata diversas atividades farmacológicas para *A. occidentale* L. entre elas, propriedades anti-inflamatórias, cicatrizante, antidiabéticas, antibacterianas e antiulcerogênica, além de ser bastante utilizada para o tratamento de doenças respiratórias e patologias gastrointestinais (FURTADO *et al.*, 2019). As propriedades atribuídas a ela, estão relacionadas aos compostos fenólicos, que são os flavonoides, taninos e o ácido anacárdico (BAPTISTA, 2018).

Devido ao alto custo dos medicamentos e, conseqüentemente, ao difícil

acesso da população, há um crescimento no número de estudos químicos e farmacológicos de plantas medicinais, objetivando a obtenção de novos produtos com propriedades cicatrizantes, a partir dos extratos vegetais ou compostos isolados destes (SOARES et al., 2020).

Neste contexto, um dos produtos farmacológicos que vem sendo estudado atualmente é a membrana de quitosana, por ser semelhante quimicamente e biologicamente aos tecidos naturais, e em alguns casos, dispõe de atividades antimicrobianas e antifúngicas, o que confere potencial aplicação na cicatrização de feridas cutâneas. Além disso, a incorporação de extratos vegetais a membranas de quitosana são utilizadas para potencializar suas propriedades terapêuticas (SANTOS, 2018; SANTOS et al., 2021).

No entanto, apesar da variedade de curativos comercializados, como gazes, algodão e compressas, esses são manipulados unicamente para cobrir as lesões. Em muitos casos esse tipo de curativo pode favorecer o desenvolvimento de patógenos, devido à alta absorção de exsudados, secar a lesão e aderir na superfície lesionada. Desse modo, o estudo possibilita desenvolver membranas compatíveis com o processo de recuperação das lesões, com técnicas simples e matéria prima alternativa.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

✓ Produzir e caracterizar membranas de quitosana com a incorporação do extrato da casca do caule de *Anacardium occidentale* L., visando a obtenção de um biomaterial com potencial terapêutico na cicatrização de ferimentos.

1.2.2. Objetivo específicos

- ✓ Obter o extrato hidroalcoólico das cascas do caule de *A. occidentale* L;
- ✓ Produzir membranas de quitosana sem adição de extrato e quitosana com a incorporação do extrato pelo método de evaporação de solventes (*casting*);
- ✓ Caracterizar as membranas de quitosana quanto a análise macroscópica

qualitativa;

- ✓ Realizar a caracterização físico-química da membrana, intumescimento, ângulo de contato e energia de superfície.

1.3 JUSTIFICATIVA

O interesse pelo tema surgiu a partir da pesquisa realizada no Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica - PIBIC, onde, utilizou a membrana de quitosana incorporada a extrato de *A. occidentale* L. para fins terapêuticos no tratamento de lesões na pele.

Atualmente existem diversos tipos de curativos e medicamentos que auxiliam no processo de cicatrização de ferimentos cutâneos. Entretanto, apesar dos avanços da indústria farmacêutica e de engenharia de materiais, no Brasil não dispõem de materiais adequados para tratar injúrias de maneira satisfatória (CESAR, 2019).

Nesse contexto, a quitosana por ser quimicamente e biologicamente semelhante aos tecidos naturais e apresentar atividades antimicrobianas e antifúngicas, é considerada um material promissor para o tratamento de lesões na pele, bem como o extrato de *A. occidentale* L., que também é atribuídos essas atividades (ARAÚJO, 2021; BARROS *et al.*, 2020).

Para tanto, levando em consideração as atividades farmacológicas de *A. occidentale* L, e sabendo-se que é uma planta comumente encontrado na região nordeste, além de ter baixo custo, torna-se relevante desenvolver membranas compatíveis com processo de recuperação de injurias, com técnicas simples e com matéria prima de fácil acesso.

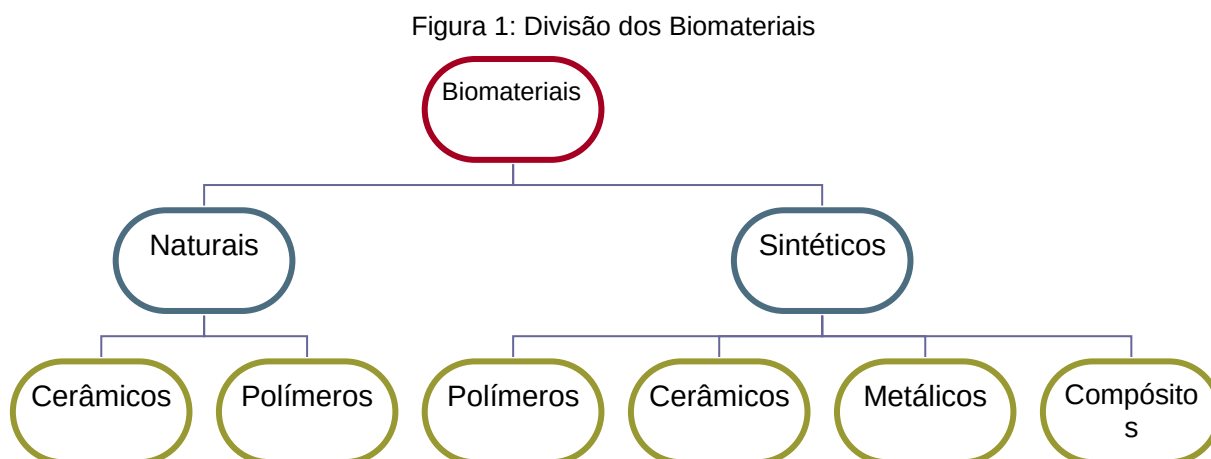
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 BIOMATERIAIS

A definição de biomateriais passou por constantes modificações ao longo da história. Para Ferreira (2022), atualmente, a melhor descrição para os biomateriais é qualquer substância ou combinação de substâncias (exceto drogas) de origem natural ou sintética, que é capaz de ser utilizada a qualquer período de tempo, como parte de um sistema que trate, recupere ou substitui parcial ou totalmente, qualquer tecido, órgão ou função do corpo, a fim de manter ou melhorar a qualidade de vida do indivíduo.

Nos últimos anos, o desenvolvimento de matérias vem sendo estudado por médicos, engenheiros, biólogos, químicos e físicos. Os materiais precisam manifestar um conjunto de propriedades químicas, físicas e biológicas, para que desenvolva a função prevista, destacando as propriedades biológicas como a biocompatibilidade, frequentemente associada à hemocompatibilidade, alergenicidade, citotoxicidade, proliferação e estimulação de adesão celular (ARAÚJO, 2021)

Os biomateriais são divididos em compostos naturais e sintéticos e categorizados como polímeros, cerâmicas, metais e compósitos. Dentre estas existem os polímeros, que é o material de destaque deste trabalho. A Figura 1 apresenta as divisões dos biomateriais (CESAR, 2019).



Fonte: Adaptado de Spezzia (2022).

Os polímeros são definidos como macromoléculas de cadeia longa e/ou de alta massa molecular. Suas estruturas são formadas por monômeros, podendo ser divididos em homopolímeros (formado por um único tipo de monômero) ou copolímeros (composto por diversos tipos de monômeros) (FELIPE *et al.*, 2017).

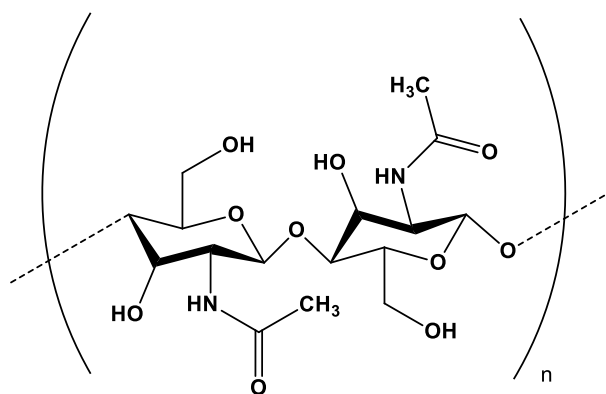
A classe dos polímeros está dividida em sintéticos e naturais (biopolímeros), e subdivididos em polissacarídeo, ácidos nucleicos e proteínas. Dentre as principais classes de macromoléculas naturais destaca-se o polissacarídeo, que possui função energética (amido, glicogênio) e estrutural (celulose, quitina). Há diversos meios de utilizar os polímeros naturais, como a quitosana, usada para preparar curativos que auxiliam no processo de cicatrização de ferimentos (FELIPE *et al.*, 2017; SANTOS, 2018).

4.2. QUITINA E QUITOSANA

A quitina, é um biomaterial duro e de cadeia rígida, na natureza pode ser encontrada na forma de microfibrilas cristalinas, presentes nas estruturas de exoesqueletos de animais marinho, artrópodes e microorganismos, sendo considerado o segundo mais disponível na natureza (FERREIRA, 2022).

A quitina (Figura 2) apresenta características altamente hidrofóbico e na grande maioria insolúvel em solventes orgânicos (GONZAGA, 2018). A separação da quitina encontrada nos exoesqueletos de crustáceos ocorre a partir das etapas de desmineralização e desproteinização, com soluções de HCl e NaOH, respectivamente. (MÂCEDO, 2013; RODRIGUES *et al.*, 2020).

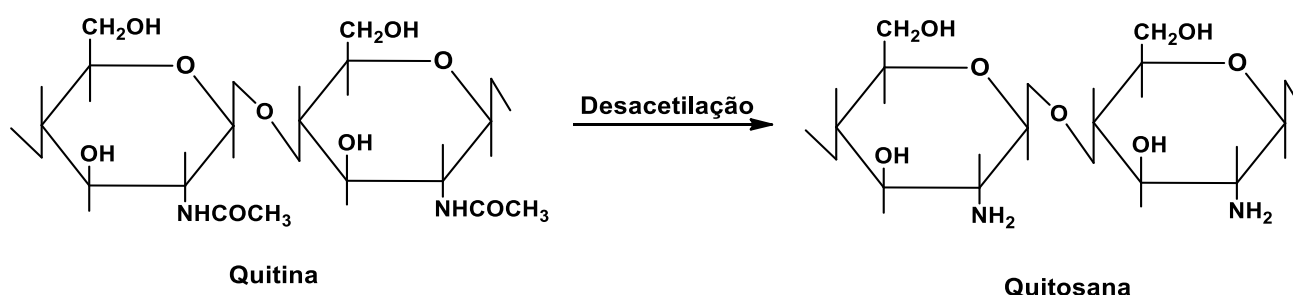
Figura 2: Representação da estrutura primária da quitina, onde n é o grau de polimerização



Fonte: Adaptado de GONZAGA (2020).

A quitosana é um polissacarídeo amino, de cadeia linear, derivado do processo de desacetilação da quitina. O processo de desacetilação da quitina libera grupos amina (NH), fazendo com que a quitosana apresente característica catiônica (FERREIRA, 2022). No decorrer da reação, os grupamentos acetamido (-NHCOCH₃) da quitina são transformados em graus variados, em grupos amina (-NH₂) (RODRIGUES *et al.*, 2020; ROLIM *et al.*, 2018), de acordo com a Figura 3.

Figura 3: Representação da desacetilação da quitina, originando a quitosana.



Fonte: Adaptado de Singh, Shitiz e Singh (2017).

Para ser definido como quitosana, o produto da reação deve conter o grau médio de desacetilação superior a 50% e o polímero ser solúvel em soluções aquosas diluídas de ácidos, como o ácido clorídrico e/ou acético (FERREIRA, 2022). A quitosana é caracterizada como um copolímero biodegradável formado a partir de unidades $\beta(1,4)$ -2-amino-2-desoxi-Dglucopiranosee $\beta(1,4)$ -2-acetamido-2-desoxi-glicopiranoose, obtido pelo o processo da desacetilação da quitina (FILHO *et al.*, 2020; VIEIRA, 2018).

O grau de desacetilação da quitosana influencia suas características físico-químicas e biológicas da quitosana. Dentre as qualidades destacam-se a biocompatibilidade, a biodegradabilidade e a capacidade antimicrobiana, baixa citotoxicidade e possuir ação cicatrizante, com inúmeras aplicabilidades nas indústrias, dentre elas, está inserido o tratamento de água, os biomédicos, os cosméticos e o curativo para ferimentos (CAVALCANTE, 2018; ROLIM *et al.*, 2018).

Além das propriedades ditas a cima, a mesma promove a drenagem, evita o acúmulo de exsudatos e serve como leito de autoenxerto na terapia de feridas, de modo essencial no processo de cicatrização de feridas, o aumento da viscosidade após hidratação, a formação de filmes resistentes, flexíveis, durável, forte, e o dispor de boa resistência mecânica e permeabilidade molecular seletiva, é utilizada em

pele artificial, cicatrização de ferimentos, sistemas de liberação de fármacos e é facilmente degradada pelo organismo pela atuação da lisozima e outros (ANJOS, 2017; BARRETO, 2021; CAVALCANTE, 2018).

Assim, as membranas desse material simples ou misturadas com outros polímeros, são utilizadas com eficácia na produção de curativos, tais características relacionadas à adição de um extrato natural de plantas, flores e frutos, por exemplo a *Anacardium occidentale* L., podem resultar em um material promissor na indústria (CAVALCANTE, 2021; MACHADO, 2021).

4.2.1 Quitosana e a incorporação de extratos vegetais

O uso de polímeros naturais resulta em um material com baixas qualidades mecânicas. A produção de uma blenda, é uma alternativa para esclarecer tais problemas mecânicos, onde dois ou mais materiais são misturados para formar o produto final, apresentando características intermediárias entre as propriedades apresentadas de cada material constituinte. Logo, a performance do material misturado pode derivar da atuação dos materiais constituintes (CHAGAS *et al.*, 2022).

A quitosana vem sendo extremamente usada nas biotecnologias para formar novos produtos, como fármacos e embalagens de alimentos, com características particulares, por apresentar vários benefícios. Pode ser obtida através da desacetilação da quitina e quando comparado com outros polissacarídeos destaca-se por possuir biocompatibilidade e biodegradabilidade, além de apresentar propriedades funcionais como antibacteriana e antifúngica (BARRETO, 2021).

Os extratos brutos vêm sendo usadas nas membranas, em ensaios realizados na engenharia alimentícia e farmacológica. Na farmacologia a melhora da atividade antibacteriana da quitosana com o acréscimo do extrato é notório (ANJOS, 2017).

Em um estudo realizado por Sousa (2017) foi desenvolvido um estudo *in vitro* e *in vivo* de atividades antimicrobiana e antioxidante de revestimentos enriquecidos com extratos vegetais naturais. Para o resultado desse estudo, foi relatado que a quitosana enriquecida com extrato de alecrim e azeitona melhorou a proteção antioxidante do filme. Sogut e Seydim (2019), realizaram um estudo de filmes de quitosana incorporada ao extrato da semente de uva, na qual os resultados obtidos

foram satisfatórios.

4.3 PLANTAS MEDICINAIS

Por muito tempo o uso de plantas medicinais foi o principal recurso terapêutico para tratar da saúde do indivíduo. Com a ascensão tecnológica e científica, especialmente no contexto das ciências da saúde, inúmeras formas terapêuticas foram surgindo (VIEIRA, 2019).

Segundo Padilha, são denominadas plantas medicinais:

Aquelas que possuem tradição de uso em uma população ou comunidade e são capazes de prevenir, aliviar ou curar enfermidades, pois, contém em um ou vários de seus órgãos, substâncias que podem ser empregadas para fins terapêuticos (PADILHA, 2019, p.18).

O poder de cura dos medicamentos naturais está expresso na literatura, como afirma Melanda (2019) “as plantas medicinais são já descritas com múltiplas aplicações práticas com vista à manutenção e melhoria da condição geral de saúde das populações”. Dentre as aplicações farmacológicas, atribuídas às substâncias produzidas pelas plantas, destacam-se: atividades antifúngicas, antibacterianas, cicatrizantes, entre outras (MATOS, 2021).

Para o uso terapêutico, seguro e eficaz, o Brasil adotou a Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos (PNPMF), e a Política Nacional de Práticas Integrativas e Complementares (PNPIC) no Sistema Único de Saúde (SUS), sendo instituída pela Portaria do Ministério da Saúde (MS) nº 971, de 03 de maio de 2006 (ANJOS, 2017; BADKE et al, 2011).

4.4. ESPÉCIE VEGETAL *Anacardium occidentale* Linn.

Segundo Padilha (2019), o primeiro relato sobre o cajueiro deve-se ao historiador André Treveti (1558). Em razão das atribuições dadas pelo historiador, nos anos seguintes, o cajueiro não mais passou despercebido a nenhum dos cronistas ou botânicos que vieram encontrá-lo no interior do Brasil.

O cajueiro, conhecido cientificamente por *Anacardium occidentale* L. é uma planta tropical, da família Anacardiaceae, oriunda do Brasil e estendendo-se a outros

países tropicais como Tanzânia, Quênia, Moçambique e Índia. Abundante no Nordeste Brasileiro, que representa cerca de 94% da produção de caju no país, sobretudo nos estados do Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte, espalhando-se em quase todo o seu território (SILVA, et al 2021). No Quadro 1 é exposta a divisão taxonômica de *A. occidentale* L. (cajeeiro).

Quadro 1- Divisão taxinômica de *A. occidentale* L.

Reino	Plantae
Divisão	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Magnolipsida</i>
Ordem	<i>Sapindales</i>
Família	<i>Anacardicease</i>
Gênero	<i>Anacardium</i>
Espécie	<i>Anacardium Occidentale</i>
Nome popular	<i>Caju, manso, acajuba</i>

Fonte: Autora (2022).

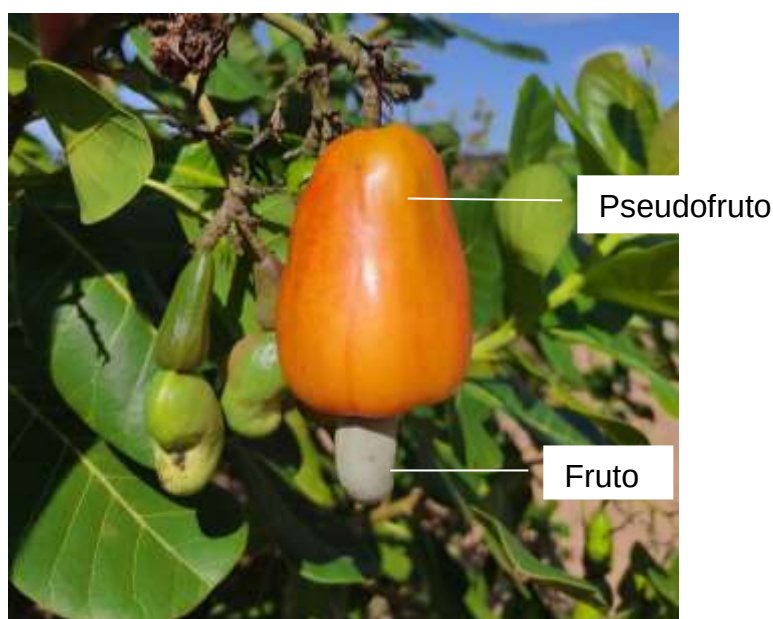
O cajueiro (Imagem 1) é uma fruteira arbórea perene, de ramificação baixa e porte médio, sendo capaz de alcançar até 15 metros de altura e diâmetro da copa superior de 20 metros, o que, dependerá das condições do sol, clima e do genótipo. Dispõe de frutos, de folhas simples, inteiras, alternas, de aspecto subcoriáceo, glabras e curto pecioladas, medindo de 10 a 20 cm de comprimento por 6 a 12 cm de largura. Esta planta tem como principais produtos a castanha de caju, seu verdadeiro fruto e o pseudofruto, conhecido popularmente como caju, que apresentam excelentes propriedades nutricionais e sensoriais (ARAÚJO, 2020; SILVA, 2021).

Imagem 1: *Anacardium occidentale* L.

Fonte: Autora (2022).

O pseudofruto (Imagem 2), possui pele cerosa e coloração que varia de amarelo a vermelho. Para a região nordeste do Brasil apresenta uma importância socioeconômica significativa, pois o pedúnculo de aparência exótica dispõe de alto teor de vitaminas A e C, além de apresentar um grande valor nutricional. No entanto, o aproveitamento ainda é baixo em relação a quantidade da matéria prima disponível (JÚNIOR *et al.*, 2018).

Imagem 2: Caju.



Fonte: Autora (2022).

Para tanto, o cajueiro há muito tempo é usado na medicina local e tradicional. É considerado um alimento amplamente utilizado e de fácil acesso, e ultimamente tem aumentado seu uso em fitoterapia (ARAÚJO, 2020).

4.4.1 Atividades farmacológicas

As espécies de *Anacardium* englobam múltiplos metabólitos secundários em suas folhas e brotos, frutos e outras partes da planta, que são capazes de ser aplicados em aspectos nutracêuticos, medicinais e biológicos. Todos os componentes do cajueiro são utilizados para o tratamento de doenças, seja por meio de decocção, infusão, extratos e outras produções (SALEHI, 2020; SILVA, 2012).

Os extratos do caule, da casca, das folhas e o suco do pseudofruto de *A. occidentale* L., são largamente manipulados para o tratamento de doenças respiratórias (bronquite e tosse), disfunções gastrointestinais (diarreia, disenteria, cólica intestinal e dor no cólon) e ferimentos (ARAÚJO, 2020). Há relatos na literatura incluindo ação terapêutica, pela ação da enzima acetilcolinesterase e da formação da placa bacteriana dentária, e demonstrando seu uso como afrodisíaco (PADILHA, 2019).

As plantas são muito apreciadas por suas características sensoriais e seus potenciais benefícios para a saúde, que se devem a presença de nutrientes para o metabolismo e de compostos bioativos com capacidade antioxidante, características essas encontradas na *A. occidentale*. Ensaios fotoquímicos realizados com a espécie apontaram a existência de antocianinas, cardiotônicos, esteróis, triterpenos e flavonoides (CARRENHO, 2020; PADILHA, 2019).

O cajueiro contém múltiplas atribuições farmacológicas, como a atividade cicatrizante, antibacteriana, antifúngica, anti-inflamatórias, antiulcerogênicas e antidiabéticas. Na literatura, essas propriedades estão relacionadas a presença dos chamados metabólitos secundários, que são compostos produzidos por plantas em momentos de injúrias e adversidades (ARAÚJO, 2020).

Santos e colaboradores (2018) realizaram um estudo sobre a atividade antibacteriana de extratos irradiados de *Anacardium occidentale* L. sobre cepas multirresistentes de *Staphylococcus aureus in vitro*, onde os resultados obtidos apontam um aumento significativo da atividade antibacteriana dos extratos após

irradiação, melhorando as substâncias bioativas, oferecendo nova matéria-prima para medicamentos antibacterianos.

Barros *et al.*, 2020 avaliou o potencial antitumoral da goma do caju, extraído da *Anacardium occidentale* L., onde demonstrou atividade antitumoral no modelo in vivo de melanoma B16-F10.

4.4.2. Estudo químico da *A. occidentale* L.

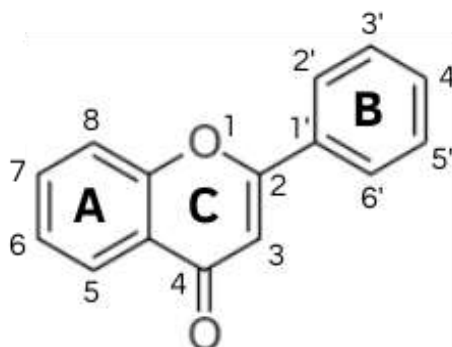
As plantas apresentam compostos fitoquímicos naturais, denominados metabólitos secundários. Alguns compostos secundários apresentam um grupo fenol, ou seja, um grupo hidroxila funcional ligado diretamente a um anel aromático, considerado como compostos fenólicos e se encontram em todas as partes do vegetal: raízes, caules, folhas, flores e frutos. Na grande maioria os princípios ativos responsáveis pela atividade de uma planta está presente entre os metabólitos secundários (FERREIRA, 2022). As propriedades presentes na *A. occidentale* L., são atribuídos aos compostos do metabolismo secundário, como os compostos fenólicos, flavonoides, taninos e ácido anacárdico (BAPTISTA, 2018).

Os compostos fenólicos são formados por um ou mais anéis benzênicos com grupamentos hidroxila ligados e com substituintes, assim como radicais metila, metoxila e monossacarídeos. São considerados antioxidantes primários, e essa capacidade está ligada a estrutura química, ao número de hidroxilas e arranjo especial (LIMA, 2022; FERREIRA, 2022).

Em flavonoides, a presença da ligação dupla C2=C3 no anel C está correlacionado ao aumento da atividade antioxidante também, sendo potencializada quando há presença de um grupo carbonila no C4 desse mesmo anel. A Figura 5 mostra a estrutura básica do flavonoide com a presença da carbonila (C4) e a ligação dupla entre C2 e C3 no anel C (LIMA, 2022).

Os flavonoides são pigmentos de cor amarelada detectada em alguns vegetais, comumente vistos na natureza (LOPES, 2020), possuem capacidade de absorção de luz em comprimentos de onda menores do que as visíveis ao olho humano, ou seja, protegem as células vegetais dos danos causados pela fotoxidação (FERREIRA, 2008). A Figura 4 demonstra a estrutura básica dos flavonoides.

Figura 4: Estrutura básica de um flavonoide .

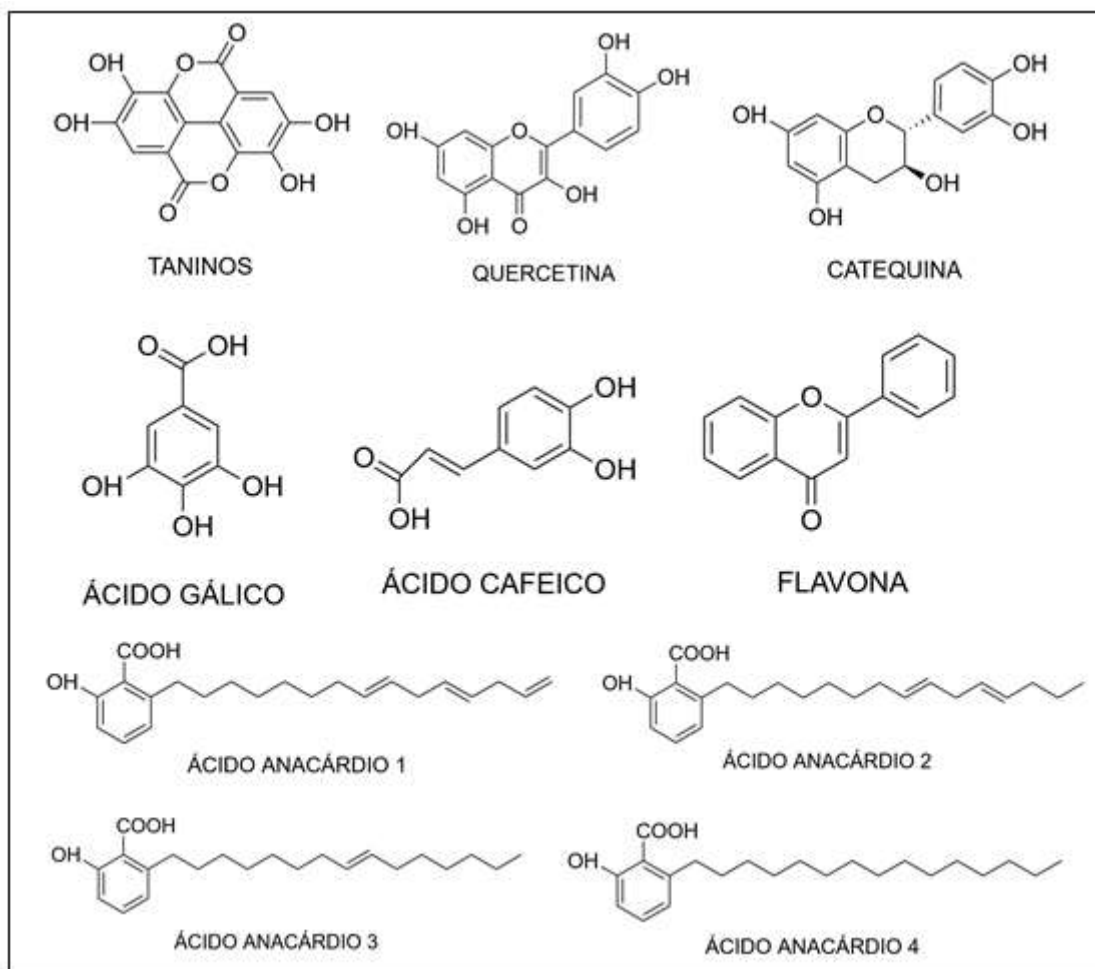


Fonte: Adaptado de Lima (2022).

Os taninos apresentam sensação de adstringência ao entrar em contato com a pele, além de dispor da coloração avermelhada. São gerados pelo metabolismo do ácido chiquímico e divididos em dois grupos, taninos hidrolisáveis e condensados (proantocianidinas). Os taninos hidrolisáveis são subdivididos em ácido gálico, ácido elágico, galotanino, elagitanino (LOPES, 2020).

Alguns fitoquímicos responsáveis por as atividades farmacológicas presentes nas cascas do caule do cajueiro foram isolados e identificados, dentre eles catequina (JÚNIOR *et al.*, 2019), ácido fenólico, e ácido gálico (BAPTIST *et al.*, 2020) taninos e flavonóides (FURTADO, 2019) ácidos anacárdicos (CHAVES *et al.*, 2010) ácido caféico (BROINIZI, 2007), conforme a Figura 5.

Figura 5: Compostos isolados nas cascas do caule de *Anacardium occidentale* L.



Fonte: Autora (2022).

5 METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Pesquisa em Biomateriais do IFPI- Campus Picos (LaBioMat). A pesquisa foi dividida em três etapas: a produção do extrato hidroalcoólico da casca do caule de *Anacardium occidentale* L.; a produção das membranas de quitosana pelo método *casting* e as caracterizações físico-químicas das membranas.

5.1 PREPARAÇÃO DO EXTRATO

As cascas do caule de *A. occidentale* L. foram coletadas no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Piauí – Campus Picos, localizado na Av. Pedro Marques de Medeiros, s/n – Parque Industrial, CEP: 64.605-500 nas coordenadas (- 7.07049700) e (-41.40254200) na data de 08/11/2021). O material vegetal foi levado para o Laboratório de Pesquisas em Biomateriais do IFPI- *Campus* Picos, o qual foi submetido ao procedimento de limpeza em água corrente e secagem em estufa à 35°C por 5 dias. Em seguida foi triturado, para obtenção do material vegetal em pó.

Para obtenção do extrato hidroalcoólico, a amostra foi extraída na proporção de 25 g de pó para 250 mL de solvente extrator (mistura composta por etanol e água na proporção de 70-30%, respectivamente), em banho de ultrassom, três vezes por 20 minutos. Após esse período, a mistura foi filtrada a vácuo, seguido de evaporação do solvente. O extrato bruto obtido foi incorporado a quitosana em diferentes proporções (1,25; 2,5 e 3,75 mg/mL) para fins comparativos.

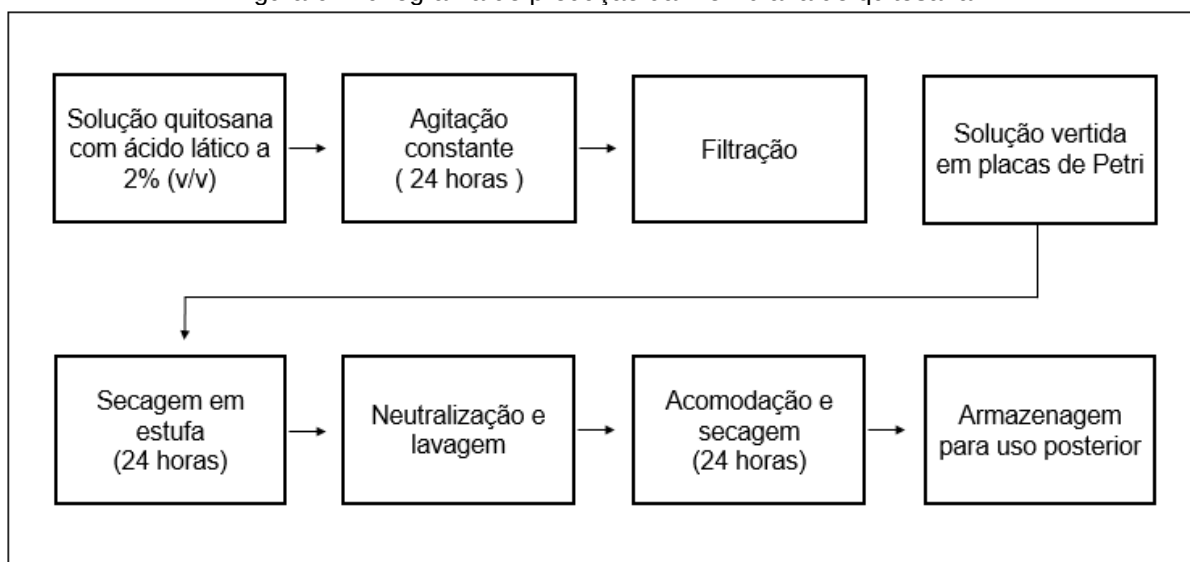
5.2. PREPARAÇÃO DOS FILMES DE QUITOSANA

5.2.1 Membranas de quitosana sem incorporação do extrato

Para obtenção da solução de quitosana, foi utilizado 50 g do pó de quitosana em 1000 ml da solução de ácido láctico a 2% (v/v), para a solubilização e homogeneização, a solução foi agitada constantemente por 24 horas. Após o período de agitação, a solução de quitosana foi submetida a duas filtrações para a eliminação de impurezas, a primeira utilizou a filtração com tela de nylon e em

seguida o filtro de Mille Millipore® (41µm). Ao concluir o processo de filtração, a solução foi vertida em placas de Petri com o volume 25 mL e submetidas à evaporação do solvente em estufa a 50°C por 24 horas para formação das membranas sob a forma de filmes. Por fim, as membranas foram neutralizadas com NaOH a 5%, em seguida, lavadas com água destilada para eliminar resíduos seguido de acomodação e secagem em temperatura ambiente por 24 horas. A Figura 6 apresenta o fluxograma da produção da membrana de quitosana sem extrato (membrana P).

Figura 6: Fluxograma de produção da membrana de quitosana.



Fonte: Autora (2022).

5.2.2 Membranas de quitosana com incorporação do extrato

Após preparação da solução como descrita no tópico 5.2.1, o extrato das cascas do caule de *A. occidentale* L. foi incorporado à quitosana nas concentrações: 1,25 mg/mL; 2,5 mg/mL e 3,75 mg/mL e mantidas sob agitação mecânica por 5 min. Ao concluir o processo de agitação, a solução foi vertida em placas de Petri com o volume de 25 mL e submetidas à evaporação do solvente em estufa a 50°C por 24 horas para formação das membranas sob a forma de filmes.

Posteriormente, as membranas foram neutralizadas com NaOH a 5%, e em seguida, lavadas com água destilada para eliminar resíduos seguido de acomodação e secagem em temperatura ambiente por 24 horas. As membranas foram codificadas conforme o Quadro 2. A figura 7 apresenta o fluxograma da produção da

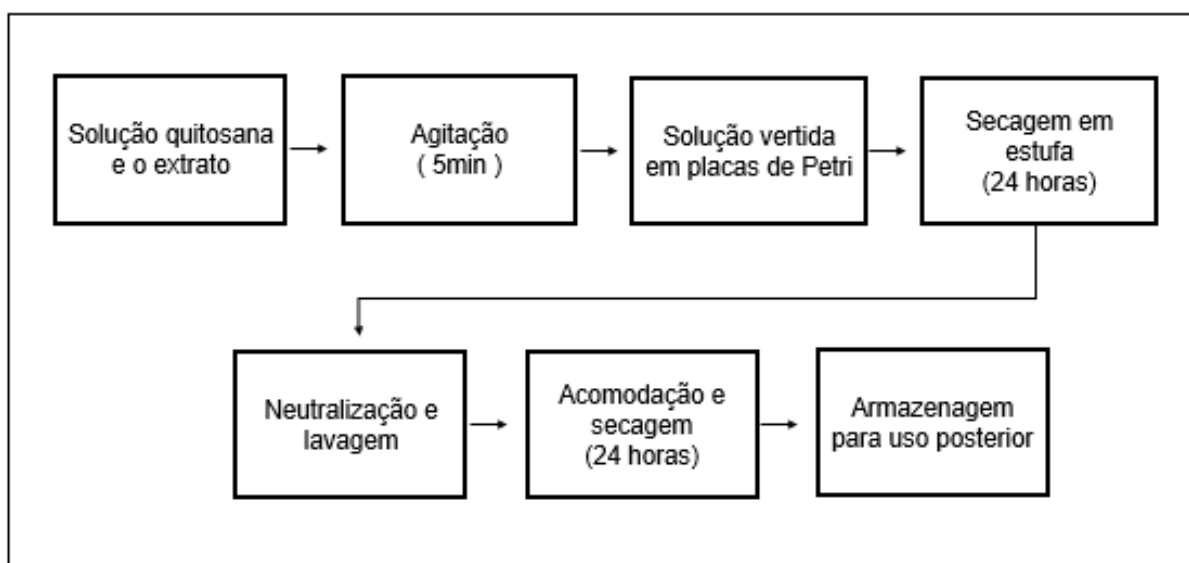
membrana de quitosana a partir da incorporação de diferentes quantidades de extrato.

Quadro 2: Codificação das membranas incorporadas ao extrato.

Código	Concentração (mg/mL)
C1	1,25
C2	2,5
C3	3,75

Fonte: Autora (2022).

Figura 7: Fluxograma da produção da membrana de quitosana incorporada ao extrato de *A. occidentale* I



Fonte: Autora (2022).

5.3 CARACTERIZAÇÃO DAS MEMBRANAS

As caracterizações morfológicas e físico-químicas dos filmes produzidos aconteceram por meio da análise macroscópica qualitativa, espessura, intumescimento e molhabilidade (ângulo de contato e tensão superficial).

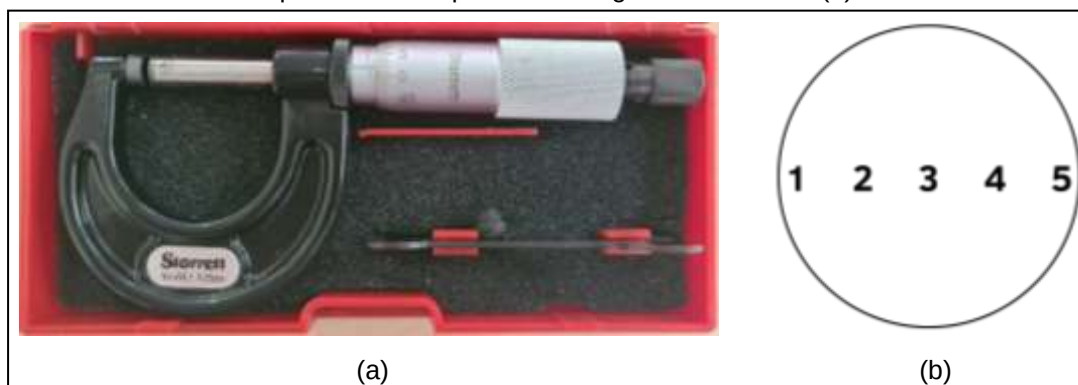
5.3.1. Análise Macroscópica Qualitativa

A análise macroscópica foi realizada através da observação visual e tátil das membranas, de modo subjetivo, quanto aos aspectos da cor, uniformidade (partículas dispersas homogeneamente pela membrana), transparência e flexibilidade. Com a finalidade de obter um parâmetro para comparação entre as membranas

5.3.2. Espessura

As espessuras das membranas foram medidas com um micrômetro analógico de marca Starrett (Figura 8a), que tem capacidade de medição de 0 a 25 mm. Uma média de 5 pontos (Figura 8b) em linha reta foi utilizada na determinação do valor médio de espessura para cada membrana. A medida foi repartida em 7 membranas de cada condição, totalizando 35 medições. Os valores são apresentados em forma de média.

Figura 8: Micrômetro da Starrett utilizado nas medidas de espessura (a) e representação esquemática dos pontos ao longo da membrana (b).



Fonte: Autora (2022).

5.3.3. Intumescimento

Esse ensaio determina a quantidade de água absorvida pelas membranas através da imersão dessas em água destilada em intervalo de tempo diferentes e quantidade de massa perdida, degradação, após o final da imersão. As membranas P, C1, C2 e C3 foram pesadas em balança analítica com quatro casas decimais

(peso seco) e depois imersas em 350 mL de água destilada, cada, por 6 dias sob temperatura ambiente (32°C). O ganho de massa foi monitorado, realizando a pesagem a cada 1 hora nas primeiras 8 horas, antes de cada pesagem os filmes foram secos com papel toalha para retirar o excesso de água.

Após as oito pesagens iniciais, as membranas foram novamente pesadas após 24 h, 48 h e 72 h, 96 h, 120 h e 144h. Depois de conferida a última pesagem (úmida) as membranas foram acomodadas em placas de petri e levadas para a estufa por 24 horas a 50 °C para a eliminação do humidade, adquirindo o peso seco final.

A análise foi realizada em triplicata calculando a média aritmética do ganho de massa em cada situação. O ganho foi calculado pela equação 1.

$$G(\%) = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que, G é o grau de intumescimento dado em porcentagem, m_u = massa úmida, m_s = massa seca e m_s = massa seca final, ambas as massas dadas em (g).

5.3.4. Molhabilidade

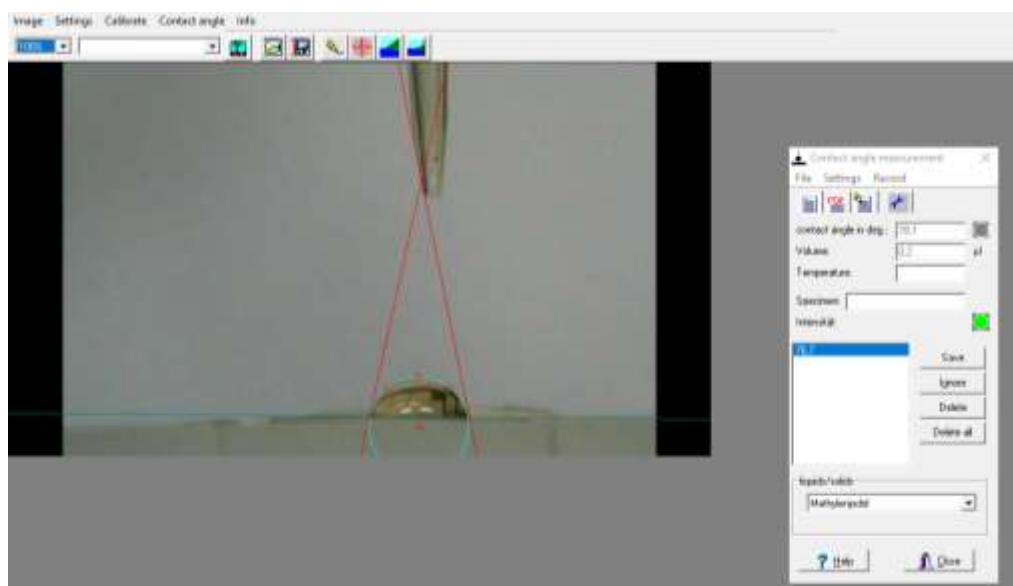
5.3.4.1 Ângulo de contato

O ângulo de contato foi realizado em um goniometro produzido por professores e alunos do Laboratório de Pesquisas em Biomateriais do IFPI - *Campus Picos*. O método usado para determinação da molhabilidade foi o da gota de séssil, usando três fluidos, água, formamida e glicerina. Para executar o ensaio foram destacadas amostras de aproximadamente 3 cm x 3 cm e fixados sobre a base plana do goniômetro, em seguida gotejada 20 µL dos respectivos líquidos. Esse procedimento foi filmado e acompanhado em computador por meio do programa *Ulead VídeoStudio*.

Através de recortes nos frames usando o *Windows Movie Maker* obteve-se

uma sequência de imagens do comportamento da gota de água em relação a superfície, nos instantes 0 s, 10 s, 20 s, 30 s, 40 s, 50 s e 60 s da queda e estabilização. Para a medição do ângulo de contato, utilizou o programa *Surftens* versão demo. Em cada imagem foram demarcadas com 5 pontos, o processo de marcação foi realizado 7 vezes em cada imagem, eliminando o maior e menor ângulo. O processo de medição do ângulo foi repetido para todas as medições em todas as condições analisadas no estudo. A Figura 9, apresenta as marcações para a medição do ângulo de contato

Figura 9: Demonstrativo da obtenção do ângulo de contato.



Fonte: Autoria (2022).

5.3.5. 2. Energia de Superfície

Para calcular a energia de superfície utilizou-se dos valores encontrados através da análise da molhabilidade por ângulo de contato e os valores dos componentes polar e dispersiva dos líquidos, aplicando-o a equação de Fowkes (Eq. 2). Os valores para os respectivos líquidos são apresentados na Tabela 1.

$$\left[\frac{1+\cos\theta}{2} \right] X \left[\frac{\gamma_l}{\sqrt{\gamma_l^d}} \right] = \sqrt{\gamma_s^p} X \sqrt{\frac{\gamma_l^p}{\gamma_l^d}} + \sqrt{\gamma_s^d}$$

(Eq. 2)

Tabela 1: Energia superficial dos líquidos utilizados

Líquidos	$\gamma_l(mJ/m^2)$	$\gamma_l^p(mJ/m^2)$	$\gamma_l^d(mJ/m^2)$
Água	72,8	51,0	21,8
Formamida	58,2	18,7	39,5
Glicerol	63,4	26,2	37,2

Fonte: Aatoria (2022).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. ANÁLISE MACROSCÓPICA QUALITATIVA

As membranas C1, C2 e C3 quando comparadas com a membrana sem extrato (P), pode-se observar que todas apresentaram semelhanças quanto à homogeneidade, transparência e flexibilidade, já para a cor observou-se um escurecimento entre as mesmas, conforme descrita na Tabela 2.

Tabela 2: Aspecto macroscópico visual e tátil das membranas.

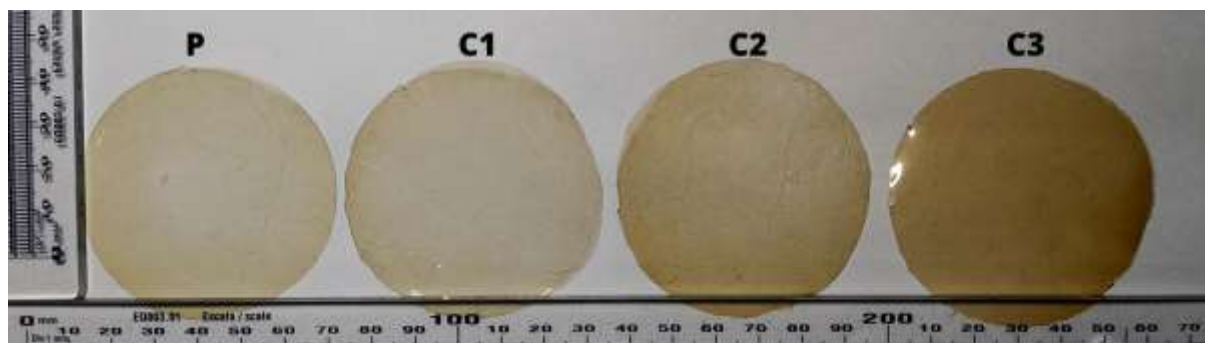
Composição	Cor	Transparência	Homogeneidade	Flexibilidade
P	Creme claro	Transparente	Homogêneo	Flexível
C1	Amarelo claro	Transparente	Homogêneo	Flexível
C2	Marrom claro	Transparente	Homogêneo	Flexível
C3	Marrom médio	Transparente	Homogêneo	Flexível

Fonte: Autora (2022).

Observou-se maior escurecimento das membranas compostas por extrato da casca do caule do cajueiro (C1, C2 e C3) e todas as membranas são transparentes. A transparência proporciona uma melhor visualização no acompanhamento da cicatrização do ferimento, visto que, não é necessário realizar a retirada do curativo.

Em relação à coloração, observou-se diferença relativamente pequena entre as membranas P e as membranas C1. Já ao comparar P com C2 e C3, observou-se a influência do extrato na coloração destas membranas. A Figura 10, apresenta as membranas produzidas em diferentes concentrações de extrato.

Figura 10: Membranas de quitosana produzidas com as diferentes concentrações do extrato.



Fonte: Autora (2022).

Os aspectos avaliados (transparência e flexibilidade) não apresentam modificações nas características em relação a membrana P. As características apresentadas são importantes e convenientes para obter um material eficaz e de fácil manipulação, principalmente para a utilização em lesões de pele. Uma vez que, a membrana precisa se adaptar ao membro ou área do corpo lesionado e que não interfira na mobilidade.

6.2. ESPESSURA

Assim como outros órgãos do corpo humano, a pele contém propriedades específicas. A espessura é uma dessas, ao ser diminuída por uma lesão, precisa ser reconstruída rapidamente, para que não exista complicações maiores. Para tanto, os materiais adequados para o uso como curativos, devem apresentar espessuras que sejam compatíveis à da pele.

Os valores médios de espessura das membranas produzidas estão apresentados na Tabela 3. Baseando-se nos valores obtidos foi possível notar que as membranas apresentaram uma variação de espessura entre 4,89 a 5,40 μ m. Isto está associado ao método de evaporação por solvente que não permite um controle preciso da espessura final obtida. Considerando o desvio padrão pode-se dizer que todas as membranas apresentaram espessura média semelhantes.

Tabela 3: Resultado do ensaio de espessura da membrana.

Amostra	Espessura média (μm)/DP
P	5,40 $\pm$ 0,93
C1	5,40 $\pm$ 0,88
C2	4,89 $\pm$ 0,93
C3	5,37 $\pm$ 0,83

Fonte: Autora (2022).

Santos (2018) afirma que o controle da espessura das membranas é indispensável para apontar a uniformidade desses materiais, entretanto, é importante salientar que o controle da espessura das membranas é difícil, em especial nos processos de produção do tipo *casting*, onde a secagem ocorre pela evaporação do solvente.

Segundo Gonzaga (2018), a literatura não especifica uma espessura padrão para as membranas, pois, as propriedades baseiam-se na área do corpo a ser tratada, mas, os biomateriais para uso como curativos devem ser biodegradáveis *in vivos*. Logo, a espessura deve ser mais fina que a derme humana, na qual o valor varia de 0,5 a 2,0 mm (500 a 2000 μm), de acordo com o sexo e idade do indivíduo.

Considerando essas informações, nota-se que o valor de espessura encontrada no presente estudo é menor que a derme humana, sendo capaz utilizar nos tratamentos de lesões cutâneas. Ataíde (2018) diz que há um curativo que exibe um valor médio inferior aos reportados em outro estudo, que é o Biofill, com valor médio de 0,036 mm (36 μm). Desse modo, as membranas produzidas no presente trabalho apresentaram espessuras compatíveis com espessuras de curativos cutâneos catalogadas na bibliografia.

6.5 MOLHABILIDADE POR ÂNGULO DE CONTATO

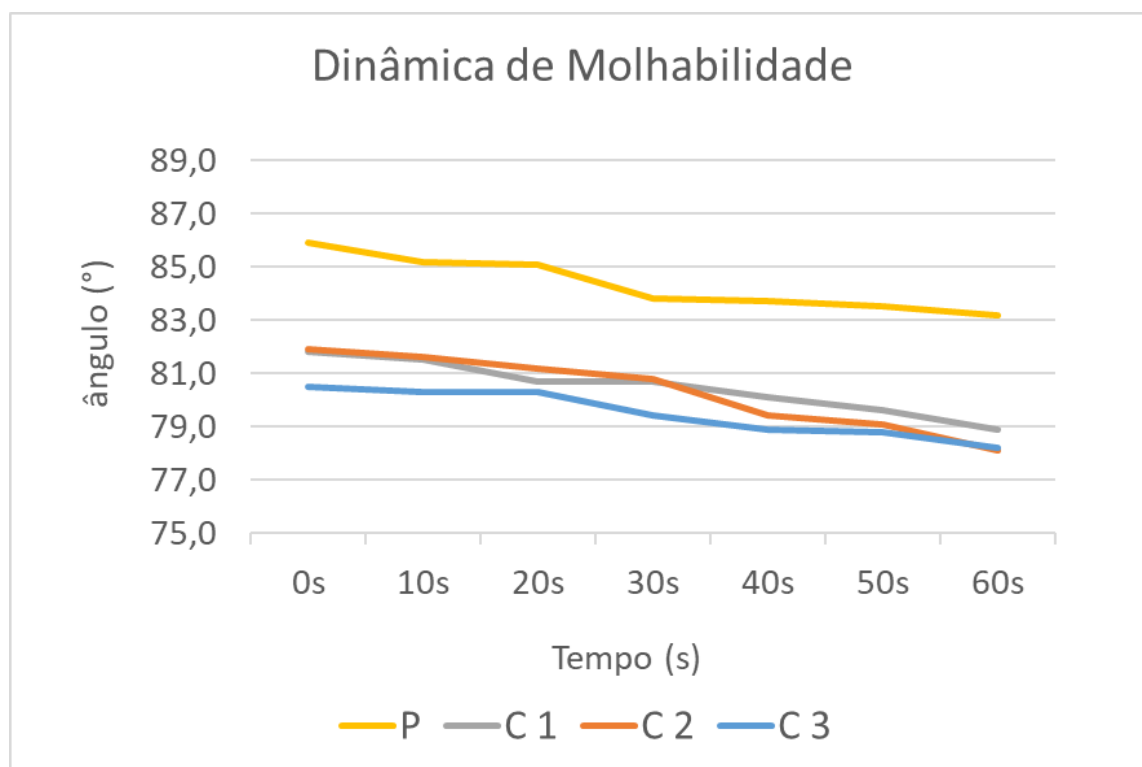
O ensaio de ângulo de contato permite avaliar o grau da molhabilidade de uma superfície. A molhabilidade de um material é obtida por meio das tensões superficiais associadas à sua energia superficial, uma vez que elas geram um maior espalhamento ou aderência da gota na superfície.

Alguns autores padronizam que a atuação do ângulo de contato (θ) acontece nas mais diversas situações, para ângulos entre $0^\circ \leq \theta < 90^\circ$, a superfície é dita hidrofílica entre $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$, a superfície é hidrofóbica, ou seja, o líquido não molha o sólido. Há casos particulares onde manifestam superfícies super-hidrofílicas (θ inferior a 10°), e superhidrofóbicas (θ superior a 150°) (FERNANDES, 2009; FERREIRA, 2022).

Os valores médios de ângulo de contato para a análise do caráter hidrofílico e hidrofóbico, das membranas de quitosana sem adição de extratos (P) e com extrato incorporado (C1, C2 e C3) estão dispostas na Figura 11.

Para todas as amostras obteve-se valores de ângulo de contato inferiores a 90° , portanto, implica dizer que as amostras apresentam caráter parcialmente hidrofílico. Os ângulos de contato Medidos após os 60 segundos iniciais da acomodação da gota de água foram, respectivamente: P ($85,2^\circ$; $83,2^\circ$), C1 ($81,6^\circ$; $78,9^\circ$), C2 ($81,9^\circ$; $78,1^\circ$) e C3 ($80,3^\circ$; $78,2^\circ$). Os testes realizados por Pereira *et al.*, (2021) apresentam essa similaridade ao ângulo de contato, apresentando o ângulo de contato interior a 90°

Figura 11: Valores médio de ângulo de contato das membranas (P, C1, C2 e C3).



Fonte: Autora (2022).

O menor valor de ângulo de contato foi detectado nas membranas C3. De

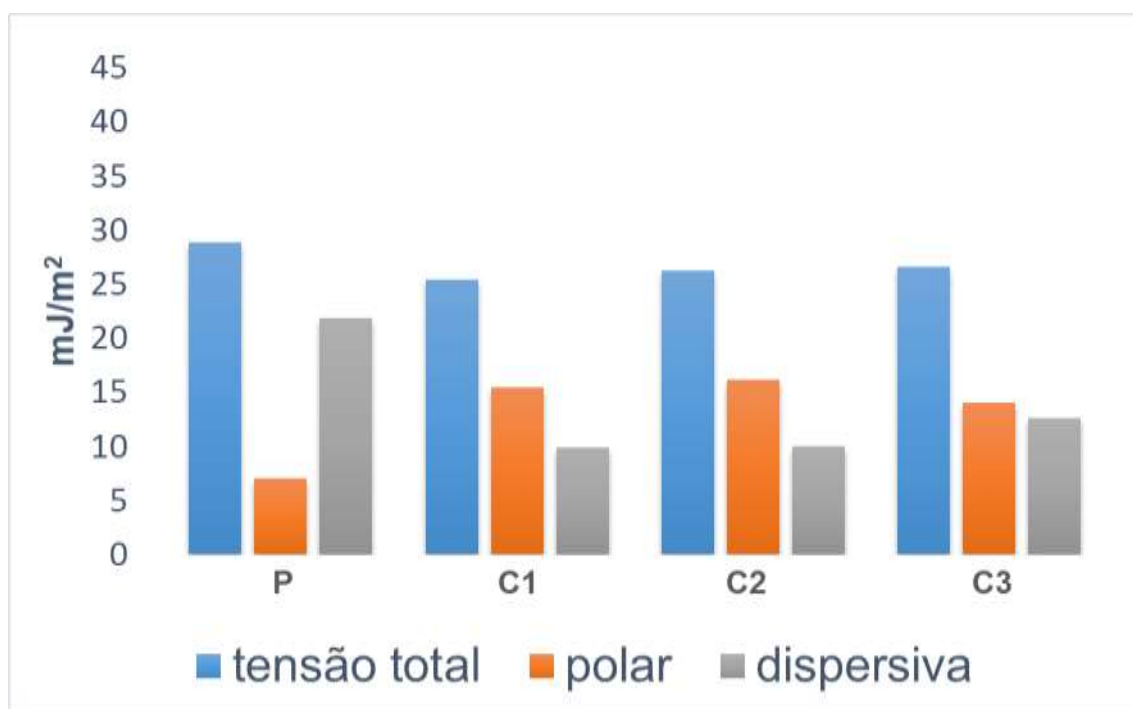
acordo com a Figura 11, observou-se uma relação direta entre aumento da concentração de extrato e a diminuição do ângulo de contato medido.

O extrato de *Anacardium occidentale* L. apresenta um alto teor de compostos fenólicos, proporcionando o aumento crescente da hidrofiliidade nas membranas C1, C2 e C3. A presença de compostos fenólicos no extrato favorece o aumento de grupos polares em sua composição (ANJOS *et al.*, 2022; JÚNIOR *et al.*, 2019).

6.6 ENERGIA DE SUPERFÍCIE

A energia de superfície é uma análise pertinente no estudo dos biomateriais, uma vez que está interligada a capacidade de outras substâncias interagirem na superfície. Sabe-se que a energia de superfície afeta fortemente as interações biológicas, a proliferação e a morfologia celular (PEREIRA *et al.*, 2021). A figura 12 apresenta os valores da energia de superfície.

Figura 12: Valores médios da energia de superfície.



Fonte: Autora (2022).

Analisando a Figura 12, observou-se que incorporação do extrato proporcionou um aumento da polaridade nas condições C1, C2 e C3 em relação a condição P. Tal fato, aconteceu por o extrato apresentar um alto teor de compostos

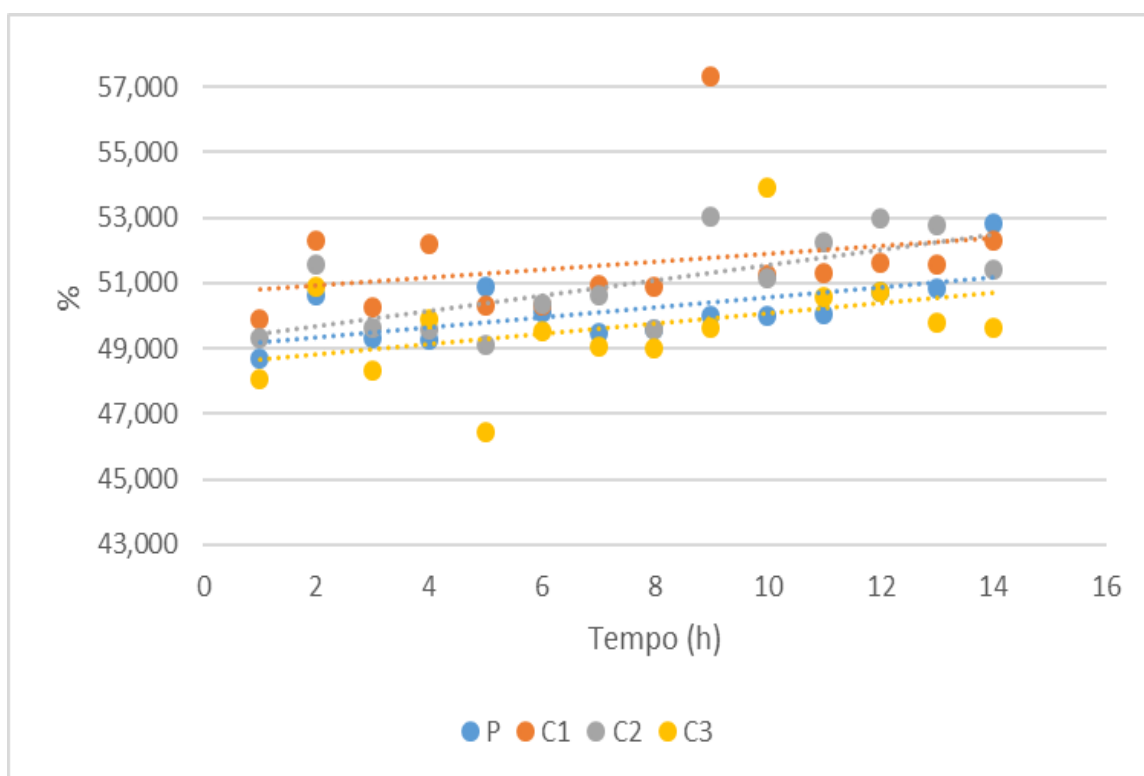
fenólicos, favorecendo o aumento da polaridade das membranas.

Sousa (2017) diz que esse o fator polar no material é importante, uma vez que a adsorção de proteínas está correlacionada à adesão celular, como por exemplo, as fibrinas, acontece de preferência nas superfícies de materiais com alta energia polar, que é o caso das membranas incorporadas com o extrato.

6.3. GRAU DE INTUMESCIMENTO

A análise do grau de intumescimento nas membranas permite avaliar a possibilidade de degradação, visto que estar relacionada ao grau de hidratação do sistema. Os resultados relacionados aos ensaios de grau de intumescimento das membranas (C1, C2 e C3), executado em água destilado por intervalo de tempo de 144 horas, estão apresentados na Figura 13.

Figura 13: Grau de intumescimento das membranas nas diferentes proporções.



Fonte: Autora (2022).

Para a membrana (P), observou-se que nas primeiras duas horas ocorreu um leve aumento no grau de intumescimento, manteve-se estável na até 3ª hora, na 4ª horas ocorreu um declínio em relação ao intumescimento da condição P, a partir da

quinta hora ocorreu uma estabilização do grau de intumescimento, mostrando-se mais evidente no instante de 24 horas.

A alta afinidade da quitosana de absorver e reter água, acontece por meio da predominância dos grupos amino caracterizados por ligações de hidrogênio, na qual, a eletronegatividade das ligações gera sítios de alta polaridade, transformando favorável o rearranjo das moléculas de água ao redor de tais sítios. Essa afinidade para os materiais implantáveis é relevante, visto que, torna capaz a absorção de fluidos corpóreos bem como a transferência de nutrientes metabólicos (LEITE *et al.*, 2021; PEREIRA *et al.*, 2021).

A incorporação do extrato da casca do caule *A. occidentale* L. na membrana de quitosana proporcionou mudanças na absorção do fluído no ensaio de absorção. A membrana C2 apresentou um aumento de absorção de forma mais controlada, em 2 horas obteve a porcentagem de intumescimento de 50% mantendo-se estável até atingir o pico de 53,8% as 48 horas e com 144 horas atingiu a porcentagem de intumescimento de 51,4%.

A C1 apresentou o maior grau de intumescimento, atingido 51,5% no instante de 2 horas com um pico de 57,3% no instante de 24 horas, no instante de 144h o grau de absorção foi de 51,4%. A membrana da condição C3 apresentou ondas de oscilação nos instantes de 2 horas, 3 horas, 4 horas, 5 horas e 6 horas, permanecendo estável até atingir o ponto mais alto de grau de absorção no momento de 48 horas, com a porcentagem de 53,8%.

Considerando as informações obtidas na análise, a incorporação do extrato de *A. occidentale* L. proporcionou um maior inchamento do material, isso favorece o processo de cicatrização, pois o grau de intumescimento é importante para a dispersão dos nutrientes e metabolitos, uma vez que o extrato apresenta compostos fitoquímicos como catequina, ácido fenólico, ácido gálico taninos, flavonoides, ácidos anacárdicos e ácido caféico.

O intumescimento proporciona observar também a degradação das membranas, as mesmas ficaram imersas na água destilada por 7 dias (Figura 14), onde observou-se a perda de massa das membranas C1, C2, C3, no entanto, não houve a degradação por completo, mostrando-se resistente a degradação. A perda de massa está apresentando na Tabela 4.

Figura 14: Degradação das membranas após 144 dias.



Fonte: Autor (2022).

Tabela 4: Perda de massa das membranas após 7 dias.

Amostra	Perda de massa (%)
P	0 ±
C1	3,16 ±
C2	1,24 ±
C3	0,25 ±

Fonte: Autor (2022).

Quando comparado ao gráfico anterior (Figura 12), observa-se que a membrana P não tem afinidade com a água, isso faz que o valor da perda de massa da membrana P, seja igual a 0%. Logo, isso ocorreu pelo o fato da membrana P ter caráter apolar, e a medida que a incorporação do extrato acontecia, a membranas passam da característica apolar para polar.

7 CONSIDERAÇÃO FINAL

A partir dos resultados obtidos por meio das caracterizações e testes realizados nesta pesquisa, todas as membranas apresentaram resultados satisfatórios para o uso em lesões cutâneas, pois apontam características de um biomaterial.

Quanto a análise macroscópica, as membranas manifestaram colorações distintas, mas, não houve modificações nas características em relação a adição do extrato da casca de *Anacardium occidentale* L. Todos os filmes apresentam propriedades significativas quanto a transparência, flexibilidade e homogeneidade, sendo estes compatíveis para uma possível aplicação como curativo. Os valores de espessuras obtidos nas condições propostas no trabalho, revelam a compatibilidade com as espessuras de curativos relatados na literatura.

A incorporação do extrato de *A. occidentale* L, possibilitou o aumento da hidrofiliabilidade, indicando componente polar, essa atribuição está associada a adesão e proliferação celular, aspecto positivo para um biomaterial curativo. As membranas permaneceram intactas durante 144 dias, com o valor de perda de massa baixo. A incorporação do extrato da casca do caule *A. occidentale* L. na membrana de quitosana proporcionou mudanças na absorção do fluido no ensaio de intumescimento. A presença de compôs fenólicos no extrato possibilitou o aumento da polaridade, verificado na análise de tensão de superfície.

Tais características são importantes e adequadas para obter um material eficaz e de fácil manipulação, principalmente para a utilização em lesões de pele. As análises realizadas apontam a eficácia da incorporação do extrato da casca do caule de *Anacardium occidentale* L. por apresentar características físico-químicas importantes para a compatibilidade de um biomaterial. Logo, para um resultado concreto desse biomaterial como alternativa para o tratamento de lesões cutâneas, é necessário a realização outras caracterizações.

REFERÊNCIAS

- ANJOS, B. F. dos; AZEVÊDO, T. K. B. de; SILVA, B. R. F. de; BRAGA, K. M.; PIMENTA, A. S.; ANDRADE, F. A. F. de. Tannins from cashew tree (*Anacardium occidentale*) bark as a flocculant for water clarification. **Revista Ambient. Água**. Vol 17, n.3, 2022. doi:10.4136/ambi-agua.2815.
- ANJOS, F. de F. dos. **Preparo e caracterização de membranas de quitosana com incorporação do extrato hidroalcoólico liofilizado do *Chenopodium ambrosioides* para aplicação como biomaterial**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Teresina, 2017.
- ARAÚJO, J. M. D. Estudos etnofarmacológicos de *Anacardium occidentale*: uma breve revisão. **Research, Society and Development**, 2020.
- ATAIDE, R. K. F. **Membrana à base de quitosana, poli(álcool vinílico) e casca de banana madura visando aplicação como curativo cutâneo**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de materiais). Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.
- BADKE, M. R.; BUDÓ, M. de L. D.; SILVA, F. M. da; RESSEL, L. B. Plantas medicinais: o saber sustentado na prática cotidiana popular. **Research-investigation**, 2011.
- BARRETO, E. R. **Filme biopolimérico multicamada à base de quitosana incorporada com compostos bioativos da casca de jabutica (*Plinia cauliflora*)**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2021.
- BARROS, A.B.; MOURA, A. F.; SILVA, D. A.; OLIVEIRA, T. M.; BARRETO, F. S.; RIBEIRO, W. L. C.; ALVES, A. P. N. N.; ARAÚJO, A. J.; FILHO, M. O. M.; ILES, B.; MEDEIROS, J. V. R.; MARINHO-FILHO, J. D. B. Evaluation of antitumor potential of cashew gum extracted from *Anacardium occidentale* Linn. **International Journal of Biological Macromolecules**, (2020).
- BAPTISTA, A. B. **Extrato de folhas de caju (*Anacardium occidentale* L.) e de caju (*Anacardium microcarpum* D.): Prospecção fitoquímica, atividade antioxidante, antimicrobiana e anti-inflamatória, *in vitro* e *in vivo***. 2018. Tese (Doutorado em Ciência da Nutrição). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2018.
- BOINIZIN P, R. B.; ANDRADE-WARTHA, E. R. S. de; SILVA, De O. e; NAVOA, A. J. V; TORRES, R. P. AZEVEDO, A. M. C.; ALVES, R. E.; MACINI-FILHO, J. Avaliação da atividade antioxidante dos compostos fenólicos naturalmente presentes em subprodutos do pseudofruto de caju (*Anacardium occidentale* L.). **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, 2007.

- CESAR, P. H. S. **Desenvolvimento e caracterização de um curativo biopolimérico contendo produtos naturais**. 2019. Tese (Doutorado em Agroquímica). Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG. 2019.
- CHAGAS, A.d.L.de; OLIVEIRA, L.P.de; Cruz, M.V.; MELO, R.M.d.; MIGUEL, M.P.; FERNANDES, K.F.; MENEZES, L.B.de. Polysaccharide-Based Membrane Biocompatibility Study of *Anacardium occidentale* L. and Polyvinyl Alcohol after Subcutaneous Implant in Rats. **Materials** 2022, 15, 1296. <https://doi.org/10.3390/ma15041296>.
- CHAVES, M.H. Fenóis totais, atividade antioxidante e constituintes químicos de extratos de *Anacardium occidentale* L., Anacardiaceae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 1, n. 20, p. 106-112, 2010.
- COSTA, A. P da. **A utilização de plantas medicinais da região nordeste do Brasil: uma revisão**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Enfermagem). Universidade Federal de Campina Grande, Cuité- PB, 2021.
- CARRENHO, P. R. B.; SILVA, A. C. da; UEBEL, T. R.; AGOSTINI, J. da S. Physical-chemical characterization, microbiological and biocompounds of cashew pulp in industrial and freezing processing. **Food Science and Technology**, Campinas, 2020.
- CAVALCANTE, P. V. D. **Desenvolvimento e caracterização de filme ativo antimicrobiano de amido de araruta/quitosana incorporado com óleo essencial de *Thymus Vulgaris***. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência de Materiais) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.
- DUTRA, R. C.; CAMPOS, M. M.; SANTOS, A. R.; CALIXTO, J. B. Medicinal plants in Brazil: Pharmacological studies, drug discovery, challenges and perspectives. **Pharmacological research**, 2016.
- FELIPE, L. O.; RABELLO, L. A.; JÚNIOR, E. N. O.; SANTOS, I. J. B. Quitosana: da Química Básica à Bioengenharia. **Quím. Nova esc.** São Paulo-SP. Vol. 39, n. 4, p. 312-320, 2017.
- FERNANDES, L. L. **Produção e caracterização de membranas de quitosana e quitosana com sulfato de condroitina para aplicações biomédicas**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.
- FERREIRA, E. da S. **Síntese e caracterização de membrana de quitosana com extrato de banana verde e andiroba para cicatrização de lesões epiteliais**. 2022. Tese (Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia) - Universidade Federal do Pará, Belém-PA, 2022.
- FILHO, S. H. de A.; FERREIRA, P. G de C.; FARES, N. B.; SILVA, L. A. F. da. Propriedades físico-químicas, atividades biológicas e resultados obtidos após utilização médica da quitosana e seus derivados. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v. 6, n.12, 2020.

FURTADO, R. A. A.; NOLETO, M. L. P da; ESSOA, D. R.; ALMEIDA, V. da S.; FILHO, A. L. M. M.; UCHÔA, V. F.; ALVES, W. da S. Ação do gel *Anacardium Occidentale* L. associado ao ultrassom terapêutico no processo de cicatrização em camundongos. **Revista Saúde (Sta.Maria)**. Mato Grosso do Sul, v. 45, n. 2, p. 1-15, maio/agosto, 2019.

GONZAGA, V. de A. M. **Desenvolvimento de membrana porosas à base de quitosana e laponita para tratamento de lesões de pele**. 2018. Tese (Ciências) - Instituto de Química de São Carlos, São Carlos, 2018.

JÚNIOR, A. F. P. de; ALVES, T. W. B; ROMANO, T. K. F.; MEDEIROS, F. D. de. Potencial Antibacteriano e antifúngico de extratos de *Anacardium Occidentale*. **Thê Química**. vol.15, n. 30, 2019.

LEITE, I. F.; WANDERLEY, W. F.; SALVIANO, A. T de M. membrana de quitosana-bioativo natural para uso potencial como curativos. *In*: HOLZMANN, H. A.; DALLAMUTA, J (org). **Engenharia de materiais e metalúrgica: tudo à sua volta 2**. 2021. cap. 15, p 174- 186.

LIMA, L. R. da S. **Abordagem metabolômica não-alvo revela o perfil fenólico em farinhas de trigo integral de diferentes genótipos e qualidades tecnológica**. 2022. Dissertação (Ciências dos Alimentos) – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio e Janeiro, 2022.

LOPES, F. A. M. B. **Estudo das características físicas e químicas das folhas do cajueiro (*Anacardium occidentale*) e suas aplicabilidades tecnológicas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) - Universidade Federal de Campina Grande, Cajazeiras - PB, 2020.

LOPES, F. **Curativos Bioativos: aliando biotecnologia ao tratamento de feridas**. Biotecnologia da Saúde (vermelha). Vol. 3, 2018. Disponível em: <<https://profissaobiotec.com.br/curativos-bioativos-aliando-biotecnologia-ao-tratamento-de-feridas/>>. Acesso em: 5 de junho de 2022.

MACÊDO, M.O.C. **Efeito do Tratamento por Plasma na Proliferação de Fibroblastos e Esterilização de Membranas de Quitosana**. 2013. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

MACHADO, M. L. Q. **Síntese e caracterização de biofilmes à base de quitosana e glicerol para aplicação em embalagens de alimentos**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2021.

MELANDA, H. C. C. **Biofilmes e plantas medicinais: evidência científica**. 2019.

Dissertação (Mestrado Integral em Medicina) - Universidade de Coimbra, 2019.

MARINHO, M. M. **Efeito tripanocida de substâncias presentes no cajueiro (*Anacardium occidentale*): uma abordagem experimental e teórica.** 2020. Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

MATOS, S. F. **Plantas medicinais no nordeste brasileiro: biodiversidade e seus usos.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas). Centro Universitário AGES, Paripiranga, 2021.

NEWMAN, D. J.; CRAGG, G. M. Natural products as sources of new drugs over the 30 years from 1981 to 2010. **Journal of Natural Products**, v. 75, n. 3, p. 311-335, 2012.

NOVAES, T. E.; NOVAES, A. S. R. Análise dos potenciais medicinais do cajueiro (*Anacardium occidentale* Linn): uma breve revisão. **Research, Society and Development**. v. 10, n. 1, 2021.

PADILHA, J. A. **Ensaio farmacológico clínico com gel do extrato tanólico da casca do caule de *Anacardium occidentale* L., através do fonoforese no tratamento da síndrome do túnel do corpo.** 2019. Tese (Doutorado na Área de concentração Farmacologia) - Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2019

PEREIRA, R. C.; ANGELIS-PEREIRA, M. C de. **Compostos fenólicos na saúde humana: do alimento ao organismo.** Editora UFLA, Lavras-MG, 2013.

PEREIRA, R.C.; SOUSA, M. V. dos S.; MACÊDO, M. de O. C.; VIANA, V. G. F.; MACÊDO, H. R. A. de. Caracterização de filmes de quitosana produzidas a partir da incorporação de extrato de *anacardium microcarpum ducke*. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, vol. 7, n. 5, maio 2021.

RODRIGUES, L. O.; FREITAS, N. M de; BARBOSA, P. S.; AZEVEDO, O. de A.; FIORESE, C. H. U.; SILVA-FILHO, G. Produção de biofilme de quitosana, reduzida da quitina, extraída de exoesqueleto de crustáceos: proposta e disponibilização sustentável. **Brazilian Applied Science Review**, Curitiba, v. 4, n. 1, p. 218-239 jan./fev. 2020.

ROLIM, A. E. H.; CARVALHO, F. A. A. A.; COSTA, R. C. C.; ROSA, F. P. Arcabouços de quitosana - propriedades físico-químicas e biológicas para o reparo ósseo. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 2, p. 211-228, 2018.

SALEHI, B.; GÜLTEKIN-ÖZGÜVEN, M.; KIRKIN, C.; ÖZÇELİK, B.; MORAIS-BRAGA, M. F. B.; CARNEIRO, J.N.P.; BEZERRA, C F.; SILVA, T. G.; COUTINHO, H.D.M.; AMINA, B.; ARMSTRONG, L.; SELAMOGLU, Z.; SEVINDIK, M.; YOUSAF, Z.; SHARIFI-RAD, J.; MUDDATHIR, A. M.; DEVKOTA, H. P.; MARTORELL, M.; JUGRAN, A. K.; CHO, W. C.; MARTINS, N. Antioxidant, Antimicrobial, and Anticancer Effects of *Anacardium* Plants: An Ethnopharmacological Perspective. **Front. Endocrinol**, junho de 2020. doi: 10.3389/fendo.2020.00295.

SANTOS, E. P. dos. **Membranas de quitosana/bioativos naturais com atividade antimicrobiana para tratamento de lesões cutâneas**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais, Parnaíba, 2018.

SANTOS, G. H. F. dos; AMARAL, A.; SILVA, E. B. da. Antibacterial activity of irradiated extracts of *Anacardium occidentale* L. on multiresistant strains of *Staphylococcus aureus*. **Applied Radiation and Isotopes**, agosto de 2018.

SANTOS, V. S.; SANTOS, V. S. dos; FERNANDES, R. da S.; JÚNIOR, C. R. F.; AOUADA, F. A.; PINHEIRO, J. H. P. A.; MOURA, M. R. de. Avaliação e caracterização de biofilme comestível de carboximetilcelulose contendo nanopartículas de quitosana e Cúrcuma longa. **Revista Matéria**, v.26, n.1, 2021.

SENA, F. S.; MACÊDO, M. O. C.; MACÊDO, H. R. A. **Produção e caracterização de membranas com extrato etanólico de própolis para fins biomédicos**. In: 10º Congresso Latino-Americano de Órgãos Artificiais e Biomateriais, João Pessoa- PB, **Anais[...]**. João Pessoa, PB, 2018.

SILVA, J. A. da et al. Caracterização química e fitoquímica, toxicidade e atividade antioxidante In Vitro, de Clones de Pedúnculos de Caju (*Anacardium Occidentale* L.). **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.8,11 de agosto de 2021.

SILVA, R. A. da. **Ação antimicrobiana de *Anacardium occidentale* L.: Potencial biotecnológico na geração de produtos anticárie**. 2012. Tese (Doutorado em Biotecnologia.). Rede Nordeste de Biotecnologia – RENORBIO, São Luís- MA, 2012.

SINGH, R.; SHITIZ, K.; SINGH, A. “Chitin and chitosan: biopolymers for wound management”, **International Wound Journal**, v. 14, n. 6, 2017.

SOARES, J. A. S.; ALKMIM, A. C.; OLIVEIRA, D. R. de.; MENDONÇA, S. de A. M.; RODRIGUES, I. V. Potencialidades da prática da atenção farmacêutica no uso de fitoterápicos e plantas medicinais. **JAPHAC- Revista de Ciências Farmacêuticas Aplicada**, 2020.

SOGUT, E.; SEYDIM, A. C. Development of Chitosan and Polycaprolactone based active bilayer films enhanced with nanocellulose and grape seed extract.

Carbohydrate Polymers. v. 195, p. 180-188, 2018.

SOUSA, F. M. S. **Preparo e caracterização de membranas de quitosana com extratos foliares de *Combretum duarceanum cambess* para aplicações biológicas**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais, Teresina, 2017.

SOUZA, Z. N.; BARROS, B. R. da S.; SILVA, K. S. da; SILVA, R. S. da; MELO, C. M. L. de. **Plantas medicinais utilizadas no nordeste do Brasil: uma revisão de literatura**. In: I Congresso internacional das Ciências da Saúde- COINTER PDVS,

Recife-PE. **Anais[...]**. Recife, PE, 2019.

SPEZZIA, S. Biomateriais. **Rev Fac Ciênc Méd Sorocaba**. 2020;22(2):83-4.
<https://doi.org/10.23925/1984-4840.2020v22i2a8>

VIEIRA, A. de S. **Conhecimento popular no uso de plantas medicinais por idosos**. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Enfermagem) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

VIEIRA, P. C. S. **Preparo e caracterização de blendes poliméricas de quitosana/poli (Ácido Acrílico)**. 2018. Trabalho de conclusão de Curso (Bacharel em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2018.

XAVIER, R. A. T.; SILVA, V. V. da; LIMA, R. A. Etnobotânica e a comunidade: saberes locais e de plantas medicinais no Brasil. **Revista SAJEBTT**, Rio Branco v.8 n.2, 2021.