UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS

MARIA CRISNANDA ALMEIDA MARQUES

OBTENÇÃO DE *SCAFFOLD* À BASE DE POLISSACARÍDEO EXTRAÍDO DO BAGAÇO DE *Anacardium occidentale* L.

Teresina
2025

MARIA CRISNANDA ALMEIDA MARQUES

OBTENÇÃO DE *SCAFFOLD* À BASE DE POLISSACARÍDEO EXTRAÍDO DO BAGAÇO DE *Anacardium occidentale* L.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas da Universidade Federal do Piauí, linha de pesquisa produção, controle de qualidade e uso de fármacos e medicamentos para aprovação na defesa de dissertação para obtenção do título de Mestre em Ciências Farmacêuticas.

Orientador: Prof. Dr. Lívio César Cunha Nunes

Teresina
2025

Universidade Federal do Piauí

Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco

Divisão de Representação da Informação

M357o Marques, Maria Crisnanda Almeida.
Obtenção de *Scaffold* à base de polissacarídeo extraído do bagaço de *Anacardium occidentale* L. / Maria Crisnanda Almeida Marques. – – 2025.
96 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, 2025.
"Orientador: Prof. Dr. Lívio César Cunha Nunes"

1. Farmacologia. 2. Biomateriais. 3. *Anacardium occidentale*. 4. Liberação de fármacos. I. Nunes, Lívio César Cunha. II. Título.

CDD 615.1

Elaborada por Fabíola Nunes Brasilino CRB 3/ 1014

Scanned with CamScanner

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS (PPGCF)
Nível: Mestrado

ATA DO EXAME DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos oito dias do mês de setembro do ano de dois mil e vinte e cinco, às 15:00 horas, reuniu-se a Banca Examinadora de Defesa da Dissertação de Mestrado composta pelos Professores Doutores, **Lívio César Cunha Nunes** - Universidade Federal do Piauí (Orientador/Presidente), **Marcília Pinheiro da Costa** – Universidade Federal do Piauí (Examinadora/Interna), **José Lamartine Soares Sobrinho** – Universidade Federal de Pernambuco - (Examinador/Externo), perante a **Maria Crisnanda Almeida Marques** aluna regularmente matriculada no Curso de Mestrado em Ciências Farmacêuticas da Universidade Federal do Piauí, a qual defendeu para preenchimento do requisito de Mestre, sua Defesa da Dissertação intitulada "**OBTENÇÃO DE SCAFFOLD À BASE DE POLISSACARÍDEOS EXTRAÍDOS DO BAGAÇO DE *Anacardium occidentale* L.".** A defesa da referida dissertação de mestrado ocorreu, das 15:00 horas às 15:50 horas, tendo a mestranda sido submetida à arguição, dispondo cada membro da banca do tempo determinado para tal. Finalmente, a Banca reuniu-se em separado e concluiu por considerar a mestranda APROVADA (aprovada/reprovada) por unanimidade.

Eu, **Lívio César Cunha Nunes**, que presidi a Banca de Defesa da Dissertação, assino a presente ata, juntamente com os demais membros e dou fé. Em Teresina, 08 de setembro de 2025. Este documento **não** tem valor de diploma.

Prof. Dr. Lívio César Cunha Nunes
Universidade Federal do Piauí
(Orientador/Presidente)

Profa. Dra. Marcília Pinheiro da Costa
Universidade Federal do Piauí
(Examinadora/Interna)

Prof. Dr. José Lamartine Soares Sobrinho
Universidade Federal de Pernambuco
(Examinador/Externo)

Scanned with CamScanner

Dedico este trabalho aos meus Avôs Tomaz Marques da Silva e Antônio Cardoso de Almeida que não puderam vivenciar essa conquista comigo.

AGRADECIMENTO

A Deus, minha fonte inesgotável de força e sabedoria, agradeço por ter me guiado com amor e luz em cada etapa desta jornada. Sem Sua presença constante, nada disso teria sido possível.
Ao grupo do laboratório, Solange, Edmilson Junior, Mayron e Ezequiel Ferreira meu sincero carinho e gratidão.
Ao professor Dr. Lívio César Cunha Nunes, meu orientador, agradeço profundamente pela orientação atenta, pelo apoio constante e, sobretudo, por acreditar no meu potencial desde o início.
Ao professor Dr. Rusbene Bruno Fonseca de Carvalho, por sua generosidade em compartilhar conhecimentos e por estar sempre disponível para me ajudar com dedicação e empenho.
A minha mentora Dra. Aldenora Ximenes por me dar suporte desde o início dessa jornada e me trazer tranquilidade e clareza.
Ao professor Dr. André Luis Menezes Carvalho, por todo o suporte oferecido na coordenação do programa, e à coordenação do PPGCF como um todo, meu sincero agradecimento.
Ao Laboratório Interdisciplinar de Materiais Avançados, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais, Laboratório de Biodisel e Materiais, Laboratório de Ecobiomateriais, e ao laboratório de Pesquisa em microbiologia por suas colaborações.
Ao Prof. Dr. José Lamartine Soares Sobrinho por sua colaboração.
E, por fim, à Universidade Federal do Piauí, por me proporcionar a oportunidade de crescer e me qualificar por meio desta pós-graduação, transformando minha trajetória acadêmica e profissional.

"É justo que muito custo o que muito vale"
Santa Teresa D'Ávila

RESUMO

Scaffolds são estruturas porosas, tridimensionais que permitem a incorporação de células e fármacos para liberação prolongada. O processamento do *Anacardium occidentale,* gera um resíduo fibroso do pseudofruto, pouco utilizado e geralmente descartado mesmo com sua rica composição e potencial de extração de compostos ativos e polímeros. Diante disso, o objetivo do presente trabalho consiste em extrair, caracterizar e aplicar o polissacarídeo do resíduo fibroso do pseudofruto de *Anacardium occidentale* L. para liberação de fármacos. Uma revisão de escopo foi realizada nas bases de dados científicas e tecnológicas. Foram selecionados cinco artigos e cinco patentes para análise integral. As evidências incluídas apontam que o resíduo fibroso do *A. occidentale* é rico em polissacarídeo, complexo proteína-polissacarídeo, lignina e pectina que podem ser obtidos pelos métodos de extração por água quente, extração assistida por ultrassom, hidrólise ácida com tratamento alcalino e extração química assistida por calor. A revisão tecnológica não localizou patentes relacionadas ao polissacarídeo do resíduo, sendo incluídas patentes sobre a goma do exsudato de *A. occidentale*. Considerando essa lacuna da literatura, foi realizada a extração do polissacarídeo do resíduo do pseudofruto de *A. occidentale* pelo método de extração por água quente seguida da recuperação com etanol, a caracterização físico-química foi realizada por espectroscopia na região de infravermelho (FTIR), microscopia eletrônica de varredura (MEV), fluorescência de raios X (FRX) e termogravimetria, a caracterização biológica foi realizada por meio de teste de atividade antioxidante, antimicrobiana e citotoxicidade *in vivo*. Para obtenção do *scaffold* foi preparado um hidrogel com polissacarídeo do resíduo e goma xantana, que foi submetido à liofilização. A caracterização foi realizada por meio de microtomografia computadorizada, MEV e mucoadesividade *ex vivo*. Após a extração obteve-se 2,54 ± 1,54 % de rendimento, os picos de FTIR mostraram a presença de grupos funcionais característicos de polissacarídeo, possui morfologia lamelar com formato de placas rugosa, com superfícies irregulares. A composição apresentou os elementos potássio (K), cálcio (Ca) e fósforo (P) em maior concentração, também possui boa estabilidade térmica com início de degradação a partir de 150°C. Quanto a atividade antioxidante o polissacarídeo apresentou CE_{50} de 0,5688 ± 0,01mg/mL para inibir 50% dos radicais livres DPPH•, já a toxicidade *in vivo* com *Artemia salina* a mortalidade foram semelhantes aos do controle negativo, com (CL_{50}) após 24 horas de exposição foi de 11,283 µg/mL e após 48 horas foi de 4,911 µg/mL, o polissacarídeo não apresentou atividade antibacteriana frente a *E. coli*. Os *scaffolds* obtidos apresentam porosidade acima de 80%, com morfologia com poros interconectados ideal para liberação de fármacos, apresentam mucoadesividade moderada, que pode ser melhorada com modificações na blenda polimérica. Destacando os resíduos fibrosos como fonte promissora na obtenção de polissacarídeos e sua aplicação em biomateriais com valor agregado.

Palavras-chave: Biomateriais; liberação de fármacos; resíduos agroindustriais; *Anacardium occidentale*.

ABSTRACT

Scaffolds are three-dimensional porous structures that allow the incorporation of cells and drugs for sustained release. The processing of Anacardium occidentale generates a fibrous pseudofruit residue that is underutilized and often discarded, despite its rich composition and potential for extracting active compounds and polymers. Thus, the objective of this study was to extract, characterize, and apply the polysaccharide from the fibrous pseudofruit residue of *Anacardium occidentale* L. for drug delivery. A scoping review was conducted in scientific and technological databases, resulting in five articles and five patents selected for full analysis. Evidence indicates that the fibrous residue of *A. occidentale* is rich in polysaccharides, protein-polysaccharide complexes, lignin, and pectin, which can be obtained by hot water extraction, ultrasound-assisted extraction, acid hydrolysis with alkaline treatment, and heat-assisted chemical extraction. The technological review found no patents related to polysaccharides from the residue, but only patents regarding the gum exudate of *A. occidentale*. Considering this gap in the literature, polysaccharide extraction from the pseudofruit residue was performed using hot water extraction followed by ethanol precipitation. Physicochemical characterization was carried out by Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), scanning electron microscopy (SEM), X-ray fluorescence (XRF), and thermogravimetric analysis, while biological characterization included antioxidant, antimicrobial, and in vivo cytotoxicity assays. For scaffold production, a hydrogel of polysaccharide and xanthan gum was prepared and freeze-dried. Characterization was performed using computed microtomography, SEM, and ex vivo mucoadhesion tests. The extraction yielded 2.54 ± 1.54%, with FTIR spectra confirming characteristic polysaccharide functional groups. SEM revealed lamellar morphology with rough, irregular plate-like surfaces. XRF analysis showed potassium (K), calcium (Ca), and phosphorus (P) as the predominant elements. Thermal stability analysis indicated degradation onset at 150 °C. The polysaccharide displayed antioxidant activity with an EC50 of 0.5688 ± 0.01 mg/mL for 50% inhibition of DPPH• radicals. In vivo cytotoxicity with *Artemia salina* showed mortality similar to the negative control, with LC50 values of 11.283 µg/mL at 24 h and 4.911 µg/mL at 48 h. No antibacterial activity was observed against *E. coli.*The obtained scaffolds exhibited porosity above 80%, with interconnected pores suitable for drug delivery, and showed moderate mucoadhesive properties, which may be improved by modifying the polymeric blend. These findings highlight the fibrous pseudofruit residue of *A. occidentale* as a promising source of polysaccharides for the development of high-value biomaterials.

Keywords: Biomaterials; drug delivery; agro-industrial residues; *Anacardium occidentale*.

LISTA DE FIGURAS

REFERENCIAL TEÓRICO

Figura 1 - Estrutura do scaffold..... 17

Figura 2 - Tipos de *scaffolds*..... 18

Figura 3 - Mapa conceitual sobre polissacarídeos..... 20

Figura 4 - Estrutura molecular da amilose, celulose, amilopectina e glicogênio..... 21

Figura 5 - *Anacardium occidentale L*..... 22

CAPÍTULO I: Extração e aplicação de polissacarídeos de resíduos do pseudofruto do caju (Anacardium occidentale) em *scaffolds* biomédicos: uma revisão de escopo e prospecção complementar

Figura 1 - Diagrama de fluxo do processo de busca bibliográfica e seleção de estudos. 38

CAPÍTULO II: Extração, caracterização e desenvolvimento de *scaffold* a partir do polissacarídeo do resíduo fibroso do pseudofruto de Anacardium occidentale'

Figura 1 - Espectro de FTIR do polissacarídeo do resíduo de pseudofruto de *Anacardium occidentale*..... 74

Figura 2 - Microscopia eletrônica de varredura..... 75

Figura 3- Fluorescência de raios X (FRX)..... 76

Figura 4 - Curva termogravimétrica do polissacarídeo do *Anacardium occidentale*..... 77

Figura 5 - Mortalidade após 24/48h de exposição. CP – Controle positivo ($K_2Cr_2O_7$, 10 µg mL-1), CN – controle negativo, somente água marinha artificial..... 79

Figura 6 - Mortalidade após 24/48h de exposição..... 80

Figura 7- *Scaffold* desenvolvido a partir de polissacarídeo do resíduo fibroso de *A. occidentale* formulação SCF-P1. A) Vista lateral; B) Vista superior. 81

Figura 8- Imagens obtidas por microtomografia computadorizada. A e B) *Scaffold* 0,5% de goma xantana. C e D) *Scaffold* 1% de goma xantana. E e F) *Scaffold* 2% de goma xantana. 82

Figura 9- Morfologia das partículas do *Scaffold* de goma xantana. A) *Scaffold* 0,5% de goma xantana escala de 50 µm, 20 µm, 100 µm. D) *Scaffold* 1% de goma xantana 50 µm, 20 µm, 100 µm. E e F) *Scaffold* 2% de goma xantana 50 µm, 20 µm, 100 µm. 83

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I: Extração e aplicação de polissacarídeos de resíduos do pseudofruto do caju (*Anacardium occidentale*) em *scaffolds* biomédicos: uma revisão de escopo e prospecção complementar

Tabela 1 - Caracterização dos estudos incluídos..... 39
Tabela 2 - Caracterização das patentes incluídas..... 42

CAPÍTULO II: Extração, caracterização e desenvolvimento de *scaffold* a partir do polissacarídeo do resíduo fibroso do pseudofruto de *Anacardium occidentale*

Tabela 1 - Valores mínimo e máximo das variáveis..... 64
Tabela 2 - Desenho experimental da produção do *scaffold* 69

LISTA DE SIGLAS

AO	*Anacardium occidentale*
BVS	Biblioteca Virtual em saúde
CE_{50}	Concentração eficaz média
CG-MS	Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas,
CL_{50}	Concentração letal média
CPC	Cromatografia de Permeação em Gel
DRX	Difração de raios X
DSC	Calorimetria diferencial de varredura
EPO	Escritório Europeu de Patentes
FTIR	Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier
GC	Goma do Cajueiro
HG	Homogalacturonano
HPSEC	Cromatografia de exclusão de tamanho de alta eficiência
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
RG-I	Ramnogalacturonano I
RG-II	Ramnogalacturonano II
RMN	Ressonância Magnética Nuclear
TGA	Termogravimetria
USPTO	United States Patent and Trademark Office
WIPO	Organização Mundial da Propriedade Intelectual
XGA	Xilogalacturonano

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL 14
2 OBJETIVOS 16
2.1 OBJETIVO GERAL 16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 16
3 REFERENCIAL TEÓRICO 17
CAPÍTULO I: Extração e aplicação de polissacarídeos de resíduos do pseudofruto do caju (*Anacardium occidentale*) em *scaffolds* biomédicos: uma revisão de escopo e prospecção complementar 33
INTRODUÇÃO 35
METODOLOGIA 37
RESULTADOS E DISCUSSÃO 38
DESAFIOS E LIMITAÇÕES 51
CONCLUSÃO 52
REFERÊNCIAS 53
CAPÍTULO II: Extração, caracterização e desenvolvimento de *scaffold* a partir do polissacarídeo do resíduo fibroso do pseudofruto de *Anacardium occidentale* 60
INTRODUÇÃO 62
MATERIAIS E MÉTODOS 64
RESULTADOS E DISCUSSÃO 72
CONCLUSÃO 86
CONCLUSÃO GERAL 87
REFERÊNCIAS 88

1 INTRODUÇÃO GERAL

Scaffolds são estruturas tridimensionais que inicialmente foram desenvolvidos para servir como suporte para regeneração de tecidos atuando como um arcabouço para incorporação de células, guiando o crescimento de tecidos (Ana et al., 2025). São produzidos com polímeros responsáveis por sua estrutura porosa que permite a incorporação de células e substâncias ativas. Devem ser biodegradáveis, biocompatíveis, não tóxicos, não imunogênicos e possuir propriedades físico-químicas adequadas permitindo sua aplicação na engenharia de tecidos (Negut; Dorcioman; Grumezescu, 2020; Han et al., 2023).

Além da regeneração de tecidos, os *scaffolds* também podem ser usados como plataforma de entrega de substâncias ativas e fármacos, tendo como principal vantagem de utilização a proteção do ativo na rede polimérica, liberação de concentrações controladas e de forma prolongada, mantendo os níveis terapêuticos, reduzindo o número de aplicações e aumentando a segurança (Calori et al., 2020).

A produção de *scaffolds* envolve o uso de biomateriais como cerâmica, metais, vitrocerâmica, polímeros sintéticos e naturais (Nikolova; Chavali, 2019), que podem ser usados na regeneração de tecidos (Wang et al., 2025), na regeneração óssea (Su et al., 2025), na diferenciação de células tronco (Yang et al., 2025), na cicatrização de feridas (Wen et al., 2025), na administração de medicamentos (Zhang et al., 2024) e fatores de crescimento celular (Romero-Torrecilla et al., 2025).

Scaffolds produzidos com polissacarídeos vegetais são uma alternativa a polímeros sintéticos, por diminuírem a rejeição imunológica, além de possuírem semelhança com a matriz extracelular facilitando assim sua aplicação. Somado a biocompatibilidade e biodegradabilidade essas características tornam esses polímeros ainda mais favoráveis à produção desse biomaterial. Polissacarídeos, como alginato (Abdi; Mashayekhan, 2025), quitosana (Kannan et al., 2025), ácido hialurônico (Zhang et al., 2025) e celulose (Thongnok et al., 2025), já são empregados na produção de *scaffolds* (Tchobanian; Van Oosterwyck; Fardim, 2019; Tiwari; Patil; Bahadur, 2019).

Os polissacarídeos podem ser encontrados em animais, microrganismos e plantas, são formados por monossacarídeos unidos por ligações glicosídicas formando uma rede polimérica e classificado em polissacarídeos estruturais, de armazenamento e formadores de gel, possuem atividades biológicas como antioxidante (Deng; Huang, 2025), antimicrobiana (Li et al., 2023), antidiabética (Yusoff; Shafie, 2024), antitumoral (Li et al., 2025), hepatoprotetora (LI et al.,

2025), além de apresentarem viscoelasticidade (Li et al., 2018) e boa capacidade de formar géis (Qiao et al., 2016) que permitem sua aplicação na indústria farmacêutica como excipientes em formulações (Benalaya et al., 2024; Xu et al., 2025; Zeng et al., 2023).

Um polissacarídeo de importância advém do resíduo agroindustrial do pseudofruto do *Anacardium occidentale*, também conhecido como bagaço de caju, que apresenta rica composição em taninos, altos teores de fenólicos totais, flavonoides, antocioninas, (Andrade et al., 2015), indicando o potencial de aplicação como excipiente farmacêutico devido suas propriedades bioativas e tecnológicas (Sabino et al., 2020).

A espécie *A. occidentale* pertence à família Anacardiaceae, sendo nativa do Brasil, possui boa adaptação ao clima tropical, é resistente a seca e cresce em solos arenosos e pedregoso (Ramos et al., 2021; Salehi et al., 2019). Possui importância econômica devido a produção da castanha, considerada fruto verdadeiro, e o pseudofruto que é suculento e rico em carboidratos, usada para a produção de bebidas, licores e doces (Oliveira et al., 2020).

O processamento do pedúnculo do *A. occidentale* gera um resíduo que pode ser matéria prima para extração de compostos bioativos, pois além de ser considerado um rejeito agroindustrial, apresenta em sua composição carboidratos constitutivos, fibras e compostos biológicos (Aslam et al., 2024). O extrato aquoso do bagaço de caju apresenta propriedades terapêuticas que auxiliam na cura de lesões gástricas induzidas por ácido acetilsalicílico (Da Silva et al., 2021).

Mesmo com grande volume e sua rica composição, esse resíduo ainda é pouco explorado e boa parte é destinado a ração animal (Abreu et al., 2013), sendo pouco explorada na extração de compostos bioativos e até o momento apenas Sabino et al (2020) utilizou esse resíduo para obtenção de polissacarídeo, mas ainda não há publicações sobre sua utilização na produção de *scaffolds*. Diante do exposto, o trabalho extrair, caracterizar e aplicar o polissacarídeo do resíduo fibroso do pseudofruto de *Anacardium occidentale* L. para liberação de fármacos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Extrair, caracterizar e aplicar o polissacarídeo do resíduo fibroso do pseudofruto de *Anacardium occidentale* L. na produção de *scaffold* para liberação de fármacos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

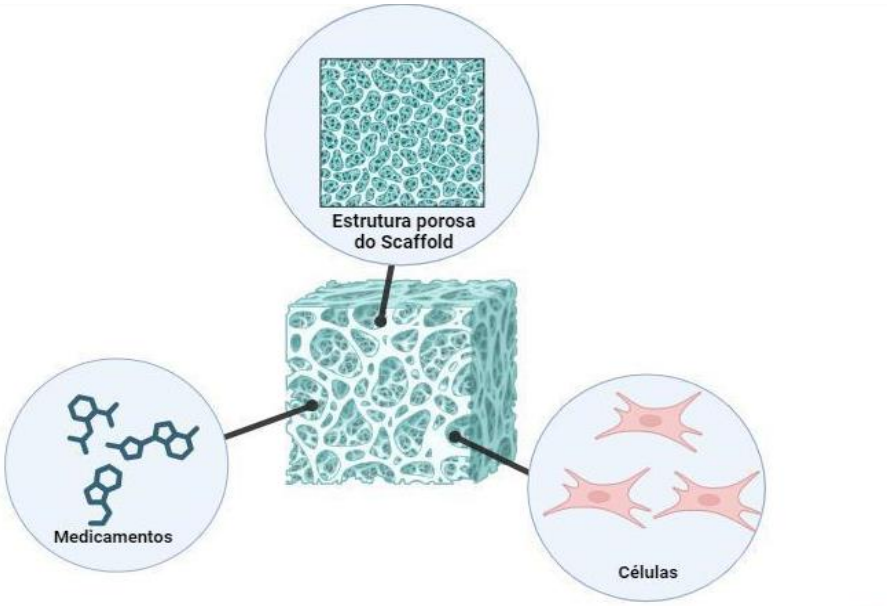
- Revisar a literatura científica sobre os métodos de extração de polissacarídeos a partir do resíduo fibroso de *Anacardium occidentale*;
- Realizar a extração do polissacarídeo do resíduo fibroso de *Anacardium occidentale* e caracterizar suas propriedades físico-químicas e atividades biológicas;
- Produzir e caracterizar um *scaffold* polimérico usando o polissacarídeo extraído do bagaço de *Anacardium occidentale*.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 *Scaffolds* e aplicações na liberação de fármacos

Scaffolds são implantes poliméricos flexíveis ou não, que podem ter duas ou três dimensões, obtidos por polímeros naturais ou sintéticos, e são utilizados como suporte para proliferação celular, na reparação de tecidos ou na cura de doenças (Figura 1). Suamte et al. (2022) define como aquele que apresenta bioatividade, biocompatibilidade, biodegradabilidade, porosidade e propriedade antioxidante. Outras características imprescindíveis para esse tipo de formulação são as propriedades mecânicas ideais para fornecer uma estrutura adequada e a compatibilidade da superfície com o ambiente de aplicação (Kim et al., 2021).

Figura 1 - Estrutura do *scaffold*



Fonte: Elaborada pelo autor no BioRender, 2023.

Os polissacarídeos naturais podem ser usados para produção de *scaffolds*, pois apresentam biocompatibilidade com os tecidos, biodegradabilidade, baixo custo por ser uma fonte renovável e baixa toxicidade, além de propriedades físico-químicas e reológicas compatíveis (Senthilkumar et al., 2022). Esses biopolímeros ainda são passíveis de modificação química que melhoram as características estruturais e podem adicionar grupos funcionais que potencializam atividades biológicas (Mukherjee *et al*., 2021).

Existe uma variedade de polímeros que podem ser usados na produção de *scaffolds*, pois sua versatilidade permite utilização de suas propriedades de acordo com a aplicação final. Os *scaffolds* podem ser produzidos com homopolímeros, copolímeros, polímeros modificados e suas misturas, podendo ser usado polissacarídeos naturais ou sintéticos (Calori et al., 2020).

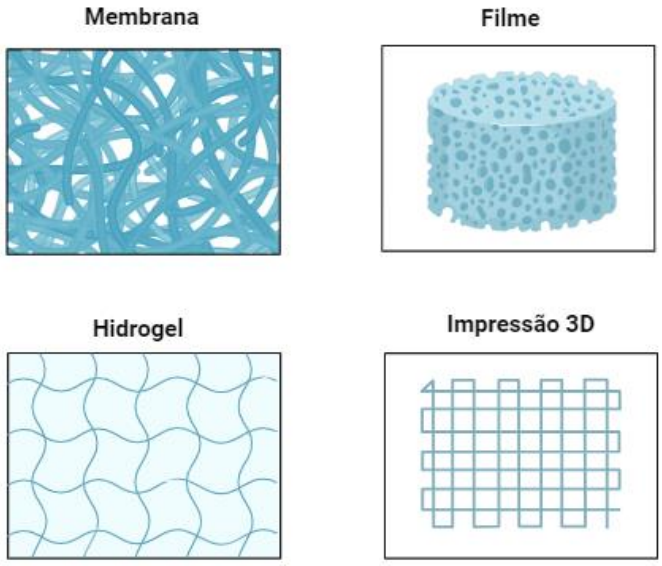
A produção de *scaffolds* utilizando a espécie *A. occidentale L.* ainda é exclusivamente com a goma do exsudato, Chagas et al. (2022) desenvolveu uma membrana polimérica usando o polissacarídeo extraído da goma do cajueiro e álcool polivinílico, obtendo uma membrana porosa, que apresentou reação tecidual moderada, demonstrando sua biocompatibilidade com tecido e baixa degradabilidade.

Nesse contexto, o *scaffold* produzido com polissacarídeo de goma do *A. occidentale L.* apresentou bom comportamento térmico, com porosidade homogênea adequada para a incorporação de células ou substâncias. Um ensaio de citotoxicidade mostrou aumento da viabilidade celular demonstrando baixa ou nenhuma citotoxicidade, além de ser hemocompatível (Rocha et al., 2023).

Do mesmo modo, Leite et al. (2023) utilizou a goma de caju ftalada e quitosana para produzir um *scaffold* destinado ao suporte de células-tronco dentárias, criando um material poroso e boas propriedades de inchaço que se mostrou com capacidade de adesão celular, comprovando a eficiência dessa formulação e da aplicação da goma de caju para essa aplicação.

Existem várias técnicas de obtenção de *scaffolds*, entre elas destaca-se a fundição por solvente, lixiviação de sal, liofilização, separação de fases induzida termicamente, eletrofiação, e impressão 3D. Cada técnica resulta em implantes poliméricos com características e funcionalidades diferentes, sendo os principais tipos membrana polimérica, filme fino, hidrogel, dispositivo 3D impresso e convencional (Figura 2), assim a metodologia de produção deve ser escolhida de acordo com as propriedades do polímero e a aplicação final (Calori et al., 2020; Suamte et al., 2023).

Figura 2 - Tipos de *scaffold*



Fonte: Elaborada pelo autor no BioRender, 2023.

Essas estruturas poliméricas podem ser usadas na regeneração de tecido criando um microambiente favorável no local de aplicação somada a liberação sustentada de substâncias precursoras (Liu et al., 2022), como curativo carreador de substância antimicrobiana (Senthilkumar et al., 2022). A citocompatibilidade dos *scaffolds* à base de polissacarídeo natural permite a cicatrização de feridas (Chen et al., 2021) e a entrega de medicamentos em local específico com liberação controlada com objetivo terapêutico (Gentile et al., 2016). O *scaffold* apresenta a possibilidade de carregar moléculas terapêuticas em sua estrutura porosa, para isso é empregado técnicas de incorporação de fármacos, a mais comum consiste em dissolver polímero e fármaco com mesmo solvente e misturar previamente, assim a droga é incorporada antes da formação do implante, essa forma apresenta desafios como encontrar um solvente comum, solubilidade do fármaco no processo de obtenção e limitação das drogas termossensíveis (Calori et al., 2020).

A incorporação de fármaco também pode ocorrer de forma indireta, por meio da imersão do *scaffold* pronto em solução do fármaco ou por pré-carregamento da substância na forma de micro ou nanopartículas, que pode ocorrer antes ou depois da fabricação. Essas metodologias são viáveis e efetivas na liberação de fármacos a depender da compatibilidade polímero-fármaco, taxa de liberação e aplicação final (Dorj et al., 2014).

A liberação de fármacos por meio deste material pode ocorrer por dissolução, onde seu interior permeia para o exterior liberando a substância ativa, regulado por difusão, o implante polimérico pode absorver o conteúdo externo aumentando o volume e liberando o fármaco. Este pode ainda sofrer erosão e no processo de degradação do polímero o fármaco é liberado, ou ser dependente de estímulos para a liberação da substância (Bharathi et al., 2022).

Scaffold de gelatina e quitosana incorporados com sinvastatina foram testados na engenharia de tecidos para regeneração do tecido ósseo, observando uma liberação controlada e lenta do fármaco o que resultou em aumento da proliferação celular (Gentile et al., 2016). Outro exemplo é a utilização deste material para entrega de antibióticos, que traz vantagens como diminuição do tempo de administração e diminui a necessidade de doses elevadas que consequentemente leva a menores efeitos adversos (Bharathi et al., 2022).

Nesse sentido, esse pode servir como suporte para a entrega de drogas anticancerígenas. A liberação de cisplatina e paclitaxel em *scaffold* de quitosana foi testada por Gupta et al. (2023), sendo possível observar a diminuição dose dependente da proliferação celular de linhagens de células de câncer de mama, próstata e câncer oral, trazendo novas possibilidades de quimioterapia localizada através da utilização desses suportes poliméricos.

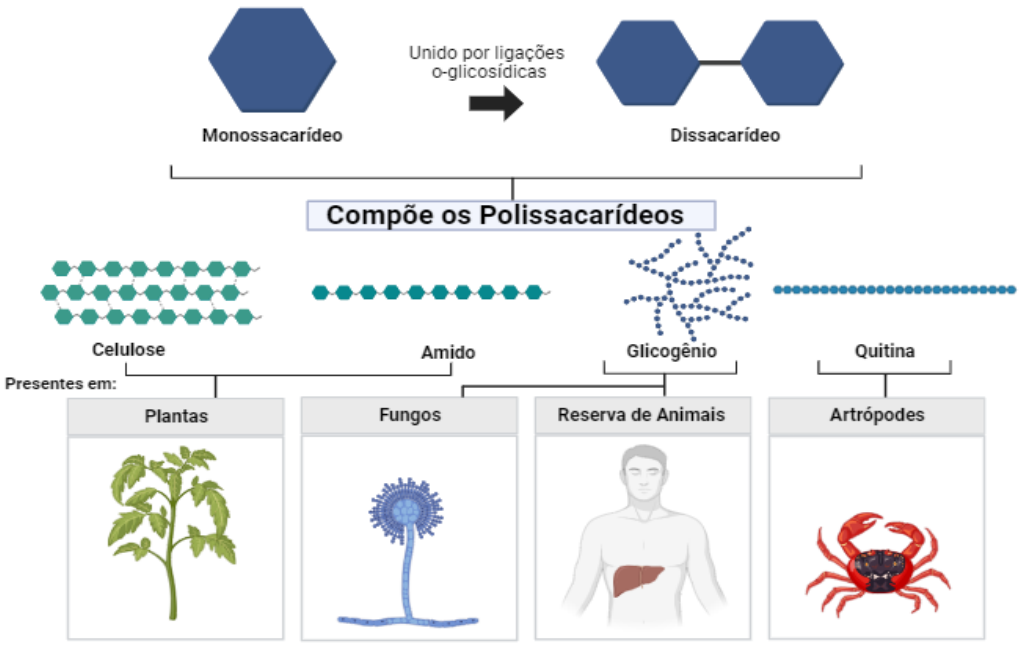
A citocompatibilidade é um aspecto fundamental para a utilização de *scaffold* devido a

sua aplicação localizada. Poornima e Korrapati (2017) realizaram ensaios de citocompatibilidade por MTT com *scaffold* de quitosana-policaprolactona, mostrando viabilidade celular maior que 90% se comparado com os compostos puros, demonstrando a citocompatibilidade do material produzido.

3.2 Polissacarídeos naturais

Polissacarídeos são polímeros formados por numerosos monômeros (Figura 3) unidos por ligações o-glicosídicas, que possuem função estrutural ou de armazenamento como amido e glicose, promovendo estrutura física e estabilidade. Estes polímeros têm sido objeto de investigações devido às suas vantagens, como: biodegradabilidade, biocompatibilidade, baixa toxicidade, boa solubilidade e não imunogenicidade, destacando-se sobre os polímeros sintéticos. Devido à sua origem natural, esses polissacarídeos podem ser adquiridos de fontes renováveis e ainda demonstram potencial devido a várias atividades biológicas distintas. Também podem ser obtidos de microrganismos, por processos enzimáticos, extraídos de fontes animais e vegetais de forma abundante e com variedade (Koyyada, 2021; Tudu; Samanta, 2023).

Figura 3 - Mapa conceitual sobre polissacarídeos

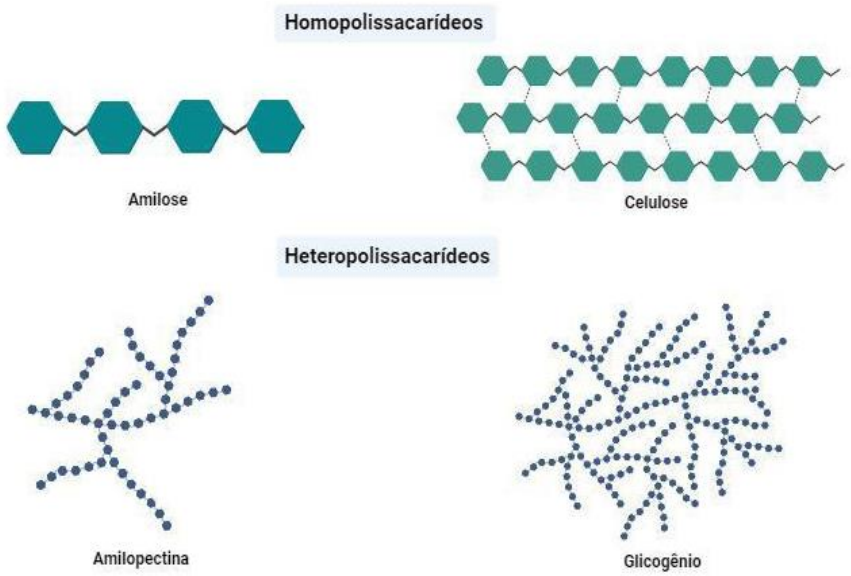


Fonte: Elaborada pelo autor no BioRender, 2023.

Nesse sentido, de acordo com as unidades monoméricas da sua composição, os polissacarídeos classificam-se em homopolissacarídeos (amilose e celulose) e

heteropolissacarídeos (amilopectina e glicogênio) (Figura 4), e podem ser agrupados de acordo com sua origem, que pode ser vegetal, animal, microbiana (fungos, leveduras e bactérias) ou de algas (Mukherjee et al., 2021).

Figura 4 - Estrutura molecular da amilose, celulose, amilopectina e glicogênio



Fonte: Elaborada pelo autor no BioRender, 2023.

As suas propriedades físico-químicas variam de acordo com a massa molecular, quanto mais alto esta massa maior a viscosidade, a baixa solubilidade, estabilidade físico-química e, consequentemente, a sua atividade bioativa (Wang *et a*l., 2023). Esses biomateriais, além de possuírem propriedades físico-químicas que favorecem sua aplicação em formulações, ainda apresentam potencial farmacológico descritos na literatura, tais como atividade antioxidante, antibacteriana, antitumoral, antiviral e imunomoduladora expandindo sua aplicação como insumo farmacêutico (Xia et al., 2020; Mukherjee et al., 2021; Xie et al., 2021; Hu et al., 2022; Ray et al., 2023).

Além disso, a variedade e as propriedades permitem a aplicação dos polissacarídeos na indústria farmacêutica, como excipientes, com a função de espessar, gelificar, emulsificar e estabilizar, sendo que celulose, alginato, amido, já são bem estabelecidos quanto sua utilização na produção de fórmulas para entrega de drogas, hidrogéis, dispersão sólida e engenharia de tecidos (Liu;Willfor; Xu, 2015; Tudu; Samanta, 2023).

Os polissacarídeos vegetais podem se dividir de acordo com a função desempenhada, que pode ser de armazenamento, alimento, componente de parede celular e goma. Estes ainda apresentam potencial de aplicação no desenvolvimento de novas fórmulas farmacêuticas, pois ao unir as propriedades físico-químicas, reológicas e bioativas é possível obter formulações:

mucoadesivas (Wang et al., 2018), nanoestruturadas para entrega de substâncias antimicrobianas e anticancerígenas (Khan et al., 2022) e formulações com administração de medicamentos direcionada ao local de ação (Azehaf et al., 2023).

Os polissacarídeos naturais são destacados como alternativa aos polímeros sintéticos por possuírem características como biodegradabilidade e compatibilidade com os tecidos pela sua origem natural. Uma outra característica muito importante é a baixa toxicidade e a segurança para o uso desse biomaterial (Makvandi et al., 2020).

A análise da composição química de plantas devido aos seus potenciais benefícios para a saúde têm despertado o interesse de pesquisadores (Lima et al., 2021). Nas plantas superiores, a obtenção de polissacarídeos pode ocorrer a partir de exsudatos (como goma arábica e tragacanto), sementes (guar, alfarroba, tamarindo), frutos (pectinas) e tubérculos (amido e inulina) (Cunha; Feitosa, 2009).

Nesse contexto, os resíduos de frutas da *A. occidentale L*. são uma fonte promissora para extração de macromoléculas como polissacarídeo e substâncias bioativas, devido seu grande volume de consumo, o que resulta na geração de resíduos que necessitam de um destino. A composição dos resíduos varia de acordo com a fruta, mas na grande maioria há a presença de pectina e fibras alimentares (Antonisamy et al., 2022).

3.4 *Anacardium occidentale* L.

A espécie *A. occidentale* (Figura 5), pertencente à família Anacardiaceae, é uma planta nativa do Brasil e presente na América do Sul. Também conhecida como cajueiro, essa espécie apresenta grande diversidade na região nordeste do Brasil, que é responsável por 98% da produção de caju do país (Borges, 2021).

Figura 5 - *Anacardium occidentale L.*



Fonte: Arquivo pessoal, 2023.

A cajucultura produz duas matérias-primas, a castanha, de onde é extraído a amêndoa comestível e o óleo/líquido amplamente usado na indústria, e o pseudofruto, que pode ser consumido *in natura* e usado para produção de suco, doce, licor e diversos produtos alimentícios (Costa et al., 2020).

O suco de caju é rico em taninos, alcalóides e carotenóides, ácido oxálico e minerais como cobre, zinco e ferro. Reina et al. (2022) caracterizou a composição do bagaço de caju e identificou a presença de taninos, carotenóides, celulose, lignina, proteína e pectina, os autores também identificaram atividade antioxidante para o material vegetal analisado. O pseudofruto do cajueiro representa a maior parte do fruto, sendo que após o despolpamento, o bagaço ainda representa 15% da massa, considerado um dos principais resíduos dessa cultura. Devido sua baixa estabilidade pós-colheita, sua utilização ainda é limitada (Padilha et al., 2020).

Na medicina popular, as folhas e cascas são utilizadas para tratar diabetes, úlceras e câncer (Taiwo et al., 2017), a literatura aponta atividade antifúngica e citotóxica para o extrato da casca do cajueiro destacando sua composição rica em ácido gálico (Costa et al., 2021), além de que o pseudofruto também apresenta rica composição fenólica livre, com presença de atividade antimicrobiana e antioxidante (Sruthi; Roopavathi; Naidu, 2023).

A goma extraída do cajueiro (GC) representa um subproduto importante da indústria de caju, com um notável potencial de aplicação em diversas áreas industriais. Nesse contexto, é inquestionável que o desenvolvimento de novos bioprodutos derivados dos polissacarídeos do cajueiro se apresenta como uma opção viável para agregar valor à cajucultura, ao mesmo tempo em que possibilita a criação de produtos baseados em recursos locais, com uma relação custo/benefício favorável (Silva et al., 2013; Porto et al., 2017; Cunha et al., 2020).

No grupo dos polissacarídeos naturais, as gomas têm atraído crescente interesse de pesquisadores e diversos segmentos da economia. Isso se deve principalmente às suas características de composição e estrutura físico-química, que conferem a essa classe de compostos uma notável atividade biológica, biocompatibilidade, biodegradabilidade e ausência de toxicidade (Koyyada; Orsu, 2021).

3.5 Polissacarídeo extraído da *Anacardium occidentale* L.

Os resíduos industriais de fruta representam um grande volume de rejeitos uma vez que a indústria de processamento de frutas possui um grande mercado. Durante o processamento industrial, boa parte das frutas são descartadas, partes como casca, caroço e sementes podem representar até 60% do peso total do fruto. Esses subprodutos são uma fonte promissora para

extração de moléculas bioativas e polissacarídeos que podem ter aplicações biomédicas (Antonisamy et al., 2022; Ashique at al., 2023).

Nessa direção, os resíduos de *A. occidentale L*. contendo frações da casca, fibra e polpa proveniente de rejeito agroindustrial foi utilizado para extração de fração solúvel de polissacarídeo, obtendo material de superfície compacta com leve enrugados e nenhum inchaço, com rica composição de glicose, resíduos de arabinogalactanos e galactose na porção péctica, apresentando alta estabilidade térmica e heterogeneidade nas cadeias de polissacarídeos (Sabino *et al*., 2020)

O ensaio de citotoxicidade realizado por Sabino et al. (2020) mostrou que o polissacarídeo extraído do resíduo do *A. occidentale L* não apresenta citotoxicidade. E que, entre os polissacarídeos extraídos no estudo, a fração do caju apresentou melhor atividade antioxidante, já o ensaio *in vivo* mostrou que o polissacarídeo foi essencial para manutenção dos níveis de glutationa no tecido estomacal e reduziu o nível de malondialdeído na mucosa lesada indicando seu potencial antioxidante frente a peroxidação lipídica.

A. occidentale também é rico em polissacarídeos pécticos, evidenciado no estudo de Tamiello-Rosa et al. (2019), que realizou a extração da pectina com os frutos maduros do caju, obtendo 6,5% de rendimento para a fração solúvel após etapas de purificação, as frações solúveis e insolúveis em água fria apresentaram alto teor de glicose. A fração solúvel em água fria foi tratada com α-amilase, apresentando homogalacturonano com alto teor de metil esterificação e arabinogalactano tipo II, esses polímeros possuem atividade bioativa prebiótica, antiangiogênico e efeito sobre o sistema imunológico.

O resíduo de *A. occidentale* além de possuir polissacarídeos em sua composição ainda apresenta alto teor de carotenóides e ácido anacárdicos, como demonstrado por Sousa et al. (2021), neste estudo o extrato de caju também apresentou atividade antimicrobiana frente a *Listeria monocytogenes,* resultado associado ao seu alto teor de compostos bioativos, testando o resíduo de caju como material promissor.

O método de extração de polissacarídeos depende da composição e solubilidade, os métodos clássicos envolvem água quente, ácida ou alcalina associada a um solvente para precipitação (Antonisamy et al., 2022). Devido às limitações dos métodos convencionais de extração, como a demora e uso de grande quantidade de solventes, métodos mais modernos, como extração por solvente supercrítico, micro-ondas e ultra-som, foram desenvolvidos para otimizar o processo de extração (Ray et al., 2023).

Uma vasta gama de polímeros, tanto naturais quanto sintéticos, tem sido empregada no desenvolvimento dessas estruturas de suporte, conhecidas como *scaffolds*. Os polímeros de

origem natural, em particular, destacam-se como uma escolha atraente na área da medicina regenerativa e são reconhecidos como biomateriais de destaque. Essa abordagem possibilita o uso de polímeros como base para o desenvolvimento de dispositivos médicos avançados, que desempenham um papel fundamental na medicina regenerativa e engenharia de tecidos (Almeida, 2018).

REFERÊNCIAS

ABDI, R.; MASHAYEKHAN, S. Development of an oxidized alginate/decellularized retinal matrix composite scaffold for retinal tissue engineering applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 308, p. 142581, 2025.

ABREU, F. P. de et al. Cashew apple (Anacardium occidentale L.) extract from by-product of juice processing: A focus on carotenoids. **Food Chemistry**, v. 138, n. 1, p. 25–31, 2013.

AKILBEKOVA, D. et al. Biocompatible scaffolds based on natural polymers for regenerative medicine. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 114, p. 324–333, 2018.

ALMEIDA, T. I. M. de. Desenvolvimento de scaffolds poliméricos padronizados para aplicação em engenharia de tecidos. 2018. Dissertação de Mestrado.

ANA, I. D. et al. Antibacterial surface functionalization of biomedical scaffolds: A transformation towards more adaptive, resilient regenerative therapy. **Results in Surfaces and Interfaces**, v. 19, p. 100481, 2025.

ANDRADE, R. A. M. de S. et al. Optimization of the extraction process of polyphenols from cashew apple agro-industrial residues. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 35, n. 2, p. 354–360, 2015.

ANTONISAMY, A. J. et al. Sustainable approaches on industrial food wastes to value-added products–a review on extraction methods, characterizations, and its biomedical applications. **Environmental Research**, p. 114758, 2022.

ASHIQUE, S. et al. Biogenic nanoparticles from waste fruit peels: Synthesis, applications, challenges and future perspectives. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 643, p. 123223, 2023.

ASLAM, N. et al. Exploring the potential of cashew waste for food and health applications – A review. **Future Foods**, v. 9, p. 100319, 2024.

AZEHAF, H. et al. Microbiota-sensitive drug delivery systems based on natural polysaccharides for colon targeting. **Drug Discovery Today**, v. 28, n. 7, p. 103606, 2023.

BENALAYA, I. et al. A review of natural polysaccharides: Sources, characteristics, properties, food, and pharmaceutical applications. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 25, n. 2, p. 1322–1322, 2024.

BHARATHI, R. et al. Chitosan-based scaffolds as drug delivery systems in bone tissue engineering. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 222, p. 132-153, 2022.

BORGES, J. Cashew tree (Anacardium occidentale): Possible applications in dermatology. **Clinics in Dermatology**, v. 39, n. 3, p. 493-495, 2021.

CALORI, I. R. et al. Polymer scaffolds as drug delivery systems. **European Polymer Journal**, v. 129, p. 109621, 2020.

CHAGAS, A. D. L. D. et al. Polysaccharide-Based Membrane Biocompatibility Study of Anacardium occidentale L. and Polyvinyl Alcohol after Subcutaneous Implant in Rats. **Materials**, v. 15, n. 4, p. 1296, 2022.

CHEN, F. et al. Green fabrication of seedbed-like Flammulina velutipes polysaccharides–derived scaffolds accelerating full-thickness skin wound healing accompanied by hair follicle regeneration. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 167, p. 117-129, 2021.

COSTA, A. R. et al. Phytochemical profile and anti-Candida and cytotoxic potential of Anacardium occidentale L. (cashew tree). **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 37, p. 102192, 2021.

COSTA, A. R. et al. Phytochemical profile of Anacardium occidentale L. (cashew tree) and the cytotoxic and toxicological evaluation of its bark and leaf extracts. **South African Journal of Botany**, v. 135, p. 355-364, 2020.

CUNHA, P. L. R. D. et al. Polissacarídeos da Biodiversidade Brasileira: Uma Oportunidade de Transformar Conhecimento em Valor Econômico. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 649-660, 2009.

CUNHA, M. N. C. et al. Potencial Farmacológico da Goma do Cajueiro (Anacardium occidentale L.): Um Biopolímero do Nordeste Brasileiro. In: Ciência, Tecnologia e Inovação: do Campo à Mesa. 1ª ed. Recife-PE: Instituto Internacional Despertando Vocações, 2020. v. 1, p. 428-445.

DA SILVA, G. G. et al. Cashew apple byproduct: Gastroprotective effects of standardized extract. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 269, p. 113744, 2021.

DENG, L.; HUANG, G. Ultrasound-assisted extraction, optimization, characteristics and antioxidant activity of Piper nigrum L. polysaccharides. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 116, p.107309, 2025.

DORJ, B. et al. A novel therapeutic design of microporous-structured biopolymer scaffolds for drug loading and delivery. **Acta Biomaterialia**, v. 10, n. 3, p. 1238-1250, 2014.

GAO, Y. et al. Preparation, structure, and biological activities of the polysaccharides from fruits and vegetables: A review. **Food Bioscience**, p. 102909, 2023.

GENTILE, P. et al. Localised controlled release of simvastatin from porous chitosan–gelatin scaffolds engrafted with simvastatin loaded PLGA-microparticles for bone tissue engineering application. **Materials Science and Engineering: C**, v. 59, p. 249-257, 2016.

GUPTA, A. A. et al. Potential use of anti-cancer drugs coated scaffolds for local drug delivery in cancer cell lines. **Oral Oncology Reports**, v. 6, p. 100032, 2023.

HAN, F. et al. Engineered biomimetic micro/nano-materials for tissue regeneration. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 11, p. 1205792, 2023.

HU, T. G. et al. The variation on structure and immunomodulatory activity of polysaccharide during the longan pulp fermentation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 222, p. 599-609, 2022.

JANMOHAMMADI, M. et al. Cellulose-based composite scaffolds for bone tissue engineering and localized drug delivery. **Bioactive Materials**, v. 20, p. 137-163, 2023.

KANNAN, P. R. et al. Ultrasmall zinc oxide nanoparticle-reinforced chitosan-fucoidan scaffolds for enhanced antibacterial activity and accelerated osteogenesis. **International Journal of Biological Macromolecules**, p. 143390, abr. 2025.

KEAN, T.; THANOU, M. Biodegradation, biodistribution and toxicity of chitosan. **Advanced drug delivery reviews**, v. 62, n. 1, p. 3-11, 2010.

KHAN, S. et al. A review of the berberine natural polysaccharide nanostructures as potential anticancer and antibacterial agents. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 146, p. 112531, 2022.

KIM, S. et al. Harnessing mechanobiology for tissue engineering. **Developmental cell**, v. 56, n. 2, p. 180-191, 2021.

KOYYADA, A.; ORSU, P. Natural gum polysaccharides as efficient tissue engineering and drug delivery biopolymers. **Journal of Drug Delivery Science and Technology**, v. 63, p. 102431, 2021.

LIU, H. et al. Facile fabrication of biomimetic silicified gelatin scaffolds for angiogenesis and bone regeneration by a bioinspired polymer-induced liquid precursor. **Materials & Design**, v. 222, p. 111070, 2022.

LIU, J. et al. A review of bioactive plant polysaccharides: Biological activities, functionalization, and biomedical applications. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, v. 5, n. 1, p. 31-61, 2015.

LI, L. et al. Fabricating Jerusalem artichoke polysaccharide-Zn (II) complexes to enhance hepatoprotective activity in vitro: Structural characterization and biological evaluation. **Food Chemistry Advances**, v. 6, p. 100941, 2025.

LI, L. et al. The rheological behavior of polysaccharides sequential extracted from Polygonatum cyrtonema Hua. International Journal of Biological Macromolecules, v. 109, p. 761–771, 2018.

LI, X. et al. Structural characterization, antioxidant and antimicrobial activities of polysaccharide from Akebia trifoliata (Thunb.) Koidz stem. **Colloids and Surfaces B Biointerfaces**, v. 231, p. 113573–113573, 2023.

LI, X. et al. Structural determination, immunomodulatory activity, and antitumor activity of a low-molecular-weight polysaccharide extracted from Lepista sordida. **International Journal of Biological Macromolecule**s, v. 307, p. 141973, 2025.

LIMA, Y. V. et al. Polissacarídeos naturais como abordagem terapêutica experimental no trato gastrointestinal: uma revisão sistemática. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, p. e524101523239-e524101523239, 2021.

MAKVANDI, P. et al. A review on advances in graphene-derivative/polysaccharide bionanocomposites: Therapeutics, pharmacogenomics and toxicity. **Carbohydrate polymers**, v. 250, p. 116952, 2020.

MUKHERJEE, S. et al. Conjugation reaction with ferulic acid boosts the antioxidant property of arabinogalactan-protein and enhances its ability to form complex with β-lactoglobulin. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 167, p. 587-594, 2021.

MUKHERJEE, S. et al. Synthesis, molecular features and biological activities of modified plant polysaccharides. **Carbohydrate Polymers**, v. 289, p. 119299, ago. 2022.

NEGUT, I.; DORCIOMAN, G.; GRUMEZESCU, V. Scaffolds for wound healing applications. **Polymers**, v. 12, n. 9, p. 2010, 2020.

NIKOLOVA, M. P.; CHAVALI, M. S. Recent advances in biomaterials for 3D scaffolds: A review. **Bioactive Materials**, v. 4, p. 271–292, 25 out. 2019.

OLIVEIRA, N. N. et al. Cashew nut and cashew apple: A scientific and technological monitoring worldwide review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 1, p. 12–21, 2020.

PADILHA, C. E. A. et al. Valorization of cashew apple bagasse using acetic acid pretreatment: production of cellulosic ethanol and lignin for their use as sunscreen ingredients. **Process Biochemistry**, v. 91, p. 23-33, 2020.

POORNIMA, B.; KORRAPATI, P. S. Fabrication of chitosan-polycaprolactone composite nanofibrous scaffold for simultaneous delivery of ferulic acid and resveratrol. **Carbohydrate Polymers**, v. 157, p. 1741-1749, 2017.

PORTO, B. C. et al. Caracterização de emulsão de goma de cajueiro modificada quimicamente para o microencapsulamento de D-limoneno. **Embrapa Agroindústria Tropical - Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** (INFOTECA-E), 2017.

QIAO, L. et al. Rheological properties, gelling behavior and texture characteristics of polysaccharide from Enteromorpha prolifera. Carbohydrate Polymers, v. 136, p. 1307–1314, 2016.

RAMOS, G. Q. et al. Stereometric analysis of Amazon rainforest Anacardium occidentale L. leaves. **Planta**, v. 253, n. 1, 2021.

RAY, A. et al. Supercritical fluid extraction of bioactives from fruit waste and its therapeutic potential. **Food Bioscience**, v. 52, p. 102418, 2023.

RIBEIRO, F. D. O. S. et al. Anti-proliferative profile of Anacardium occidentale polysaccharide and characterization by AFM. **International journal of biological macromolecules**, v. 156, p. 981-987, 2020.

ROCHA, L. B. N. et al. Development of a new biomaterial based on cashew tree gum (Anarcadium occidentale L.) enriched with hydroxyapatite and evaluation of cytotoxicity in adipose-derived stem cell cultures. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 242, p. 124864, 2023.

ROMERO-TORRECILLA, J. A. et al. 3D-printed polycaprolactone scaffolds functionalized with poly(lactic-co-glycolic) acid microparticles enhance bone regeneration through tunable drug release. **Acta Biomaterialia**, v. 198, p. 219-233, 2025.

SABERIAN, E. et al. Application of scaffold-based drug delivery in oral cancer treatment: A novel approach. **Pharmaceutics**, v. 16, n. 6, p. 802, 2024.

SABINO, L. B. de S. et al. Polysaccharides from acerola, cashew apple, pineapple, mango and passion fruit co-products: structure, cytotoxicity and gastroprotective effects. **Bioactive Carbohydrates And Dietary Fibre**, v. 24, p. 100228, 2020.

SALEHI, B. et al. Anacardium plants: Chemical, nutritional composition and biotechnological applications. **Biomolecules**, v. 9, n. 9, p. 465, 2019.

SENTHILKUMAR, C. et al. Collagen-Annona polysaccharide scaffolds with tetrahydrocurcumin loaded microspheres for antimicrobial wound dressing. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, v. 3, p. 100204, 2022.

SI, Y. et al. Advances in polysaccharide nanocrystals as pharmaceutical excipients. **Carbohydrate Polymers**, v. 262, p. 117922, 2021.

SILVA, G. G. da et al. Cashew apple byproduct: Gastroprotective effects of standardized extract. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 269, p. 113744, 2021.

SILVA, R. A. O. et al. Prospecção tecnológica: aplicação da goma do cajueiro (Anacardium occidentale) em nanotecnologia. **Revista GEINTEC-Gestão, Inovação e Tecnologias**, v. 3, n. 4, p. 055-069, 2013.

SINGH, P. et al. Polysaccharides and lipoproteins as reactants for the synthesis of pharmaceutically important scaffolds: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, p. 124884, 2023.

SRUTHI, P. et al. Profiling of phenolics in cashew nut (Anacardium occidentale L.) testa and evaluation of their antioxidant and antimicrobial properties. **Food Bioscience**, v. 51, p. 102246, 2023.

SUAMTE, L. et al. Various manufacturing methods and ideal properties of scaffolds for tissue engineering applications. **Smart Materials in Manufacturing**, v. 1, p. 100011, 2023.

SUAMTE, L.; TIRKEY, A.; BABU, P. J. Design of 3D smart scaffolds using natural, synthetic and hybrid derived polymers for skin regenerative applications. **Smart Materials in Medicine**, 2022.

SU, S. et al. A novel strategy for bone defect repair: Stromal cell-derived factor 1α sustained-release acellular fish scale scaffolds combined with injection of bone marrow mesenchymal stem cells promote bone regeneration. **Materials Today Bio**, v. 32, p. 101759, 2025.

TAIWO, B. J. et al. Identification of compounds with cytotoxic activity from the leaf of the Nigerian medicinal plant, Anacardium occidentale L. **Bioorganic & medicinal chemistry**, v. 25, n. 8, p. 2327-2335, 2017.

TAMIELLO-ROSA, C. S. et al. Pectins from cashew apple fruit (Anacardium occidentale): Extraction and chemical characterization. **Carbohydrate research**, v. 483, p. 107752, 2019.

TCHOBANIAN, A.; VAN OOSTERWYCK, H.; FARDIM, P. Polysaccharides for tissue engineering: Current landscape and future prospects. **Carbohydrate Polymers**, v. 205, p. 601–625, 2019.

THONGNOK, K. et al. Polydopamine-coated regenerated cellulose-bioceramic composite scaffolds for enhanced bone tissue engineering. **Materials Chemistry and Physics**, p. 130891, 2025.

TIWARI, S.; PATIL, R.; BAHADUR, P. Polysaccharide based scaffolds for soft tissue engineering applications. **Polymers**, v. 11, n. 1, p. 1, 2019.

TUDU, M.; SAMANTA, A. Natural polysaccharides: Chemical properties and application in pharmaceutical formulations. **European Polymer Journal**, p. 111801, 2022.

WANG, H. et al. Development of nano hydroxyapatite loaded gellan gum nanocomposite scaffold for the regeneration of bone tissue affected by osteosarcoma. **Results in Chemistry**, v. 15, p. 102208, 2025.

WANG, L. et al. Rheological and mucoadhesive properties of polysaccharide from Bletilla striata with potential use in pharmaceutics as bio-adhesive excipient. **International journal of biological macromolecules**, v. 120, p. 529-536, 2018.

WANG, Z. et al. Regulation strategy, bioactivity, and physical property of plant and microbial polysaccharides based on molecular weight. **International Journal of Biological Macromolecules**, p. 125360, 2023.

WEN, J. et al. Integrated anti-inflammatory and anti-fibrosis dual drug-loaded core-shell fiber scaffolds: Diabetic wound healing and scar reduction. **Journal of Materials Science & Technology**, v. 237, p. 155-170, 2025.

XIA, G. X. et al. Antimicrobial properties and application of polysaccharides and their derivatives. **Chinese Journal of Polymer Science**, v. 39, p. 133-146, 2021.

XIE, L. et al. Chemical modifications of polysaccharides and their anti-tumor activities. **Carbohydrate Polymers**, v. 229, p. 115436, 2020.

XUE, H. et al. Research progress on the hypoglycemic activity and mechanisms of natural polysaccharides. **International Journal of Biological Macromolecules**, p. 126199, 2023.

XU, B. et al. From structure to function: A comprehensive overview of polysaccharide roles and applications. **Food Frontiers**, v. 6, n. 1, p. 15-39, 2025.

YANG, Y. et al. Guided neural stem cell differentiation by dynamic loading of 3D printed elastomeric scaffolds. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 165, p. 106940, 2025.

YUSOFF, M. H. M.; SHAFIE, M. H. A review of in vitro antioxidant and antidiabetic polysaccharides: Extraction methods, physicochemical and structure-activity relationships. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 282, p. 137143, 2024.

ZENG, F.-S. et al. Polysaccharides as antioxidants and prooxidants in managing the double-edged sword of reactive oxygen species. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 159, p. 114221, 2023.

ZHANG, K. et al. A novel antibacterial bioplatform developed from drug-loaded MOF-reinforced polylactic acid scaffolds for bone repair. **Materials Letters**, v. 377, p. 137530, 2024.

ZHANG, L. et al. Enhanced bone regeneration via surface functionalization of biphasic calcium phosphate scaffolds with dopamine-modified hyaluronic acid hydrogel or mg-doped calcium silicate. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 308, p. 142561 2025.

ZHANG, Q. et al. Electrospun polymeric micro/nanofibrous scaffolds for long-term drug release and their biomedical applications. **Drug Discovery Today**, v. 22, n. 9, p. 1351-1366, 2017.

ZHAO, H. P. et al. Acute toxicity and anti-fatigue activity of polysaccharide-rich extract from corn silk. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 90, p. 686-693, 2017.

CAPÍTULO I: Extração e aplicação de polissacarídeos de resíduos do pseudofruto do caju (*Anacardium occidentale*) em *scaffolds* biomédicos: uma revisão de escopo e prospecção complementar

RESUMO

Os polissacarídeos naturais são polímeros abundantes na natureza, suas propriedades físico-químicas e atividades biológicas têm chamado atenção para utilização na indústria farmacêutica como uma alternativa verde aos polímeros sintéticos. A espécie *Anacardium occidentale* possui cultura agrícola muito presente na região nordeste do Brasil, essa produção gera resíduo fibroso que ainda é subutilizado, esse resíduo apresenta potencial de extração de compostos ativos e polissacarídeos. Diante disso o objetivo da revisão foi identificar métodos de extração, propriedades funcionais e potenciais aplicações do polissacarídeo do resíduo do *Anacardium occidentale* com ênfase no uso na produção de *scaffolds*. A revisão foi realizada nas bases de dados científicas Medical Literature Analysis and Retrievel System Online (MEDLINE/Pubmed); Coleção Principal do Web of Science; Scopus (Elsevier), ScienceDirect e Biblioteca Virtual em saúde (BVS) e nas bases tecnológicas Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), na Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO - *Patenscope*), no Escritório Europeu de Patentes (EPO) e no *United States Patent and Trademark Office* (USPTO). A elegibilidade foi feita através da leitura inicial de títulos e resumos, seguindo para a leitura completa dos textos selecionados, para extração dos dados relevantes. As buscas nas bases científicas resultaram no total de 152 artigos, após a remoção das duplicatas 142 artigos foram analisados, e cinco foram selecionados para leitura completa, esses artigos mostram que tanto o resíduo fibroso de *Anacardium occidentale* quanto o pseudofruto são ricos em polissacarídeo, complexo proteína-polissacarídeo, lignina e pectina que podem ser obtidos pelos métodos de extração por água quente, extração assistida por ultrassom, hidrólise ácida com tratamento alcalino e extração química assistida por calor. Os polissacarídeos obtidos apresentam boas propriedades mecânicas, estabilidade térmica, baixa toxicidade, e foram testados para terapia gastroprotetora, como probiótico, na liberação prolongada de substância ativa e no tratamento de feridas. Quanto à revisão tecnológica, foram encontradas 12132 patentes, sete foram selecionadas para leitura dos documentos, após a elegibilidade, não foi encontrado patente relacionada ao polissacarídeo do resíduo fibroso, sendo incluído três patentes sobre a goma do exsudato de *A. occidentale* por ser um polissacarídeo proveniente da espécie. Apesar de evidências limitadas, os estudos indicam que o resíduo agroindustrial de *Anacardium occidentale* apresenta potencial para extração de polissacarídeos, com boas propriedades para aplicações na indústria farmacêutica.

Palavras-chave: Biopolímeros; *Anacardium occidentale*; Resíduos Industriais; Materiais Biocompatíveis.

ABSTRACT

Natural polysaccharides are abundant polymers in nature, and their physicochemical properties and biological activities have attracted attention for use in the pharmaceutical industry as a green alternative to synthetic polymers. Anacardium occidentale is widely cultivated in the Northeastern region of Brazil, generating fibrous residues that remain underutilized despite their potential for the extraction of active compounds and polysaccharides. Therefore, the objective of this review was to identify extraction methods, functional properties, and potential applications of polysaccharides from A. occidentale residues, with emphasis on their use in scaffold production. The review was conducted in the scientific databases Medical Literature Analysis and Retrieval System Online (MEDLINE/PubMed), Web of Science Core Collection, Scopus (Elsevier), ScienceDirect, and Virtual Health Library (VHL), as well as in technological databases including the National Institute of Industrial Property (INPI), the World Intellectual Property Organization (WIPO – Patentscope), the European Patent Office (EPO), and the United States Patent and Trademark Office (USPTO). Eligibility was determined through initial screening of titles and abstracts, followed by full-text analysis of the selected studies for relevant data extraction. Searches in the scientific databases yielded 152 articles; after duplicate removal, 142 articles were screened, and five were selected for full-text analysis. These articles reported that both the fibrous residue and the pseudofruit of A. occidentale are rich in polysaccharides, protein–polysaccharide complexes, lignin, and pectin, which can be obtained through hot water extraction, ultrasound-assisted extraction, acid hydrolysis with alkaline treatment, and heat-assisted chemical extraction. The extracted polysaccharides demonstrated good mechanical properties, thermal stability, and low toxicity, and were tested for gastroprotective therapy, as probiotics, for sustained drug release, and in wound healing applications. Regarding the technological review, 12,132 patents were retrieved, of which seven were selected for document analysis. After eligibility assessment, no patents related to polysaccharides from fibrous residues were identified; instead, three patents concerning the gum exudate of A. occidentale, also a polysaccharide source from the species, were included. Despite the limited evidence, the studies indicate that the agro-industrial residue of A. occidentale has potential for polysaccharide extraction, with promising properties for applications in the pharmaceutical industry.

Keywords: Biopolymers; *Anacardium occidentale*; Industrial Waste; Biocompatible Materials.

INTRODUÇÃO

Polissacarídeos são polímeros naturais amplamente encontrados na natureza, podem ser facilmente extraídos de fontes vegetais, bacterianas, fúngica e animais, essa abundância e variedade torna esse material acessível, sustentável e com baixo custo (Luo et al., 2021; Fragal et al., 2022). A biocompatibilidade, não toxicidade e a biodegradabilidade tornam esses biopolímeros mais vantajosos, sendo, portanto, uma alternativa verde a polímeros sintéticos, principalmente em aplicações biomédicas (Matsumura e Rajan, 2021).

Polissacarídeos vegetais apresentam diversas atividades biológicas tais como antioxidante (Du et al., 2025), anti-inflamatória (Zhang et al., 2024), antimicrobiana (Li et al., 2023), antitumoral (Angeli et al., 2025) e imunomoduladora (He et al., 2024) assim como um composto de interesse para uso como excipiente (Yang et al., 2022).

O cajueiro, *Anacardium occidentale,* é uma espécie nativa do Brasil, amplamente cultivada na região nordeste, sendo uma das culturas agrícolas mais populares (Mendes et al., 2024). O pseudofruto ou pedúnculo constitui a maior parte da produção (cerca de 90%), usado na produção de sucos, polpa, doces, conservas e suco clarificado (Silva et al., 2022). Essa produção gera um resíduo agroindustrial, conhecido como "bagaço de caju", que corresponde a fibra remanescente após a retirada do suco. Esse subproduto é rico em compostos bioativos, representando aproximadamente 20% a 25% do resíduo gerado com o processamento da castanha de caju (Araújo et al., 2023).

Esse resíduo tradicionalmente é usado para a produção de ração animal ou, em sua maior parte, descartado na natureza gerando problemas ambientais, no entanto tem atraído olhares devido a possibilidade de fonte de extração de compostos bioativos (Da Silva et al., 2021). Sua composição é rica em celulose, lignina, hemicelulose, além de possuir componentes funcionais como compostos fenólicos, taninos e ácido ascórbico, destacando esse subproduto promissor na extração de biomoléculas de interesse industrial e farmacêutico (Zié et al., 2023).

Nesse sentido os resíduos agroindustriais de frutas apresentam potencial vantajoso, pois além dos componentes bioativos, oferecem uma alternativa ecológica e econômica para a recuperação de compostos como antioxidantes, fibras, pectina, corantes, carboidratos e outras substâncias que podem ser usadas pela indústria alimentícia e farmacêutica (Sharma et al., 2024; Argun, Argun, Ates, 2025). Além disso, polissacarídeos naturais já vêm sendo usados para produção de biomateriais poliméricos e *scaffolds* para a liberação de fármacos e engenharia de tecidos (Sood, Gupta, Agrawal, 2021).

Mesmo com a abundância de resíduos agroindustriais do *A. occidentale* e suas propriedades bioativas evidentes, o polissacarídeo desse resíduo ainda é pouco explorado, diante disso surge a seguinte questão: Quais são os métodos existentes para a extração de polissacarídeos do bagaço do pseudofruto do caju e como suas propriedades únicas podem contribuir para o desenvolvimento de *scaffolds* biomédicos eficazes e sustentáveis?" Diante dessa questão, o presente estudo tem como objetivo revisar a literatura científica e tecnológica para identificar métodos de extração, propriedades funcionais e potenciais aplicações do polissacarídeo do resíduo do *Anacardium occidentale* na obtenção de *scaffolds* biomédicos.

METODOLOGIA

Revisão Científica

A presente revisão de escopo foi realizada em duas etapas: científica e tecnológica. Para a revisão científica, a busca foi realizada nas bases de dados Medical Literature Analysis and Retrievel System Online (MEDLINE/Pubmed); Coleção Principal do Web of Science; Scopus (Elsevier), ScienceDirect e Biblioteca Virtual em saúde (BVS) utilizando o protocolo PRISMA (https://www.prisma-statement.org/) para identificar artigos científicos relevantes sobre a extração do polissacarídeo do bagaço de *Anacardium occidentale* e sua utilização para produção de *scaffolds*.

Foram utilizados os descritores: *Anacardium occidentale*, polissacarídeo, biopolímero, *scaffold* e materiais biocompatíveis conforme estratégias de busca do quadro 1 (Anexo). Foram incluídos artigos completos originais publicados entre 2015 e 2025, nos idiomas inglês e português, que realizaram a extração do polissacarídeo a partir dos resíduos ou do pseudofruto de *A. occidentale* e foram excluídas revisões, artigos publicados em anais de conferências, teses, editoriais e quaisquer outros relatórios que não fossem originais ou fora da temática.

A triagem das publicações foi realizada com o auxílio do Software Rayyan (Rayyan Systems Inc., Cambridge, MA, EUA). Os artigos foram importados e organizados possibilitando a primeira etapa da elegibilidade por meio da triagem de título e resumos e a segunda etapa da elegibilidade realizada através da leitura dos textos completos. Foram extraídos dados sobre o polissacarídeo, métodos de extração, rendimento, caracterização, principais resultados e aplicação.

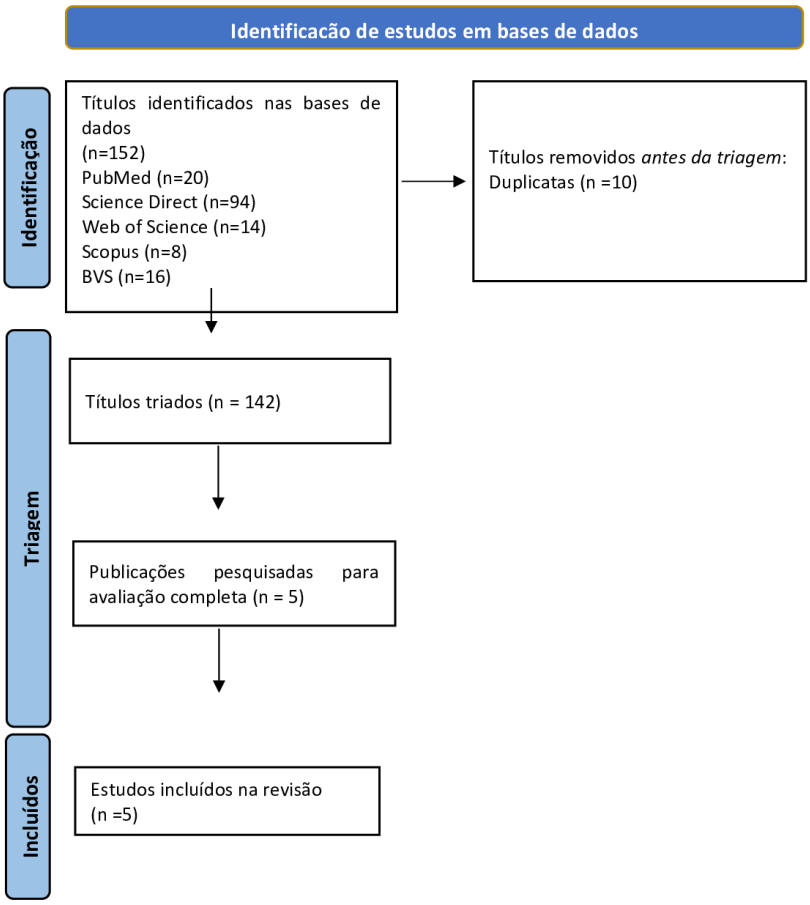
Revisão tecnológica

A revisão de patentes foi realizada nas bases de dados Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), na Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO - *Patenscope*), no Escritório Europeu de Patentes (EPO) e no *United States Patent and Trademark Office* (USPTO). Assim como na revisão científica, a busca de patentes utilizando os termos em inglês: *Anacardium occidentale*, polissacarídeo, biopolímero, *scaffold* e materiais biocompatíveis. Foram incluídas patentes que realizaram extração do polissacarídeo do pseudofruto ou do resíduo de *Anacardium occidentale*. Para ampliar o escopo da prospecção foram incluídas patentes relacionadas a goma do exsudato do caule de *A. occidentale* devido a semelhança química e origem comum. A elegibilidade foi conduzida por meio da leitura inicial de títulos e resumos, seguindo da análise integral dos documentos, com extração dos dados relevantes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As buscas nas bases científicas resultaram no total de 152 artigos. Após a remoção das duplicatas, 142 artigos foram analisados com base no título e resumo. Dentre esses, cinco foram considerados relevantes e selecionados para leitura completa, sendo posteriormente incluídos nesta revisão, conforme ilustrado na figura 1. Desses artigos incluídos, quatro foram desenvolvidos pela Universidade Federal do Ceará, mostrando o interesse no reaproveitamento do resíduo presente na região nordeste. A distribuição temporal das publicações concentrou-se entre os anos de 2019 e 2025, mostrando um crescimento recente quanto às investigações sobre o tema. Quanto às abordagens experimentais, três artigos realizaram ensaios in vitro, avaliando citotoxicidade, atividade antioxidante, ensaio de liberação, atividade antimicrobiana, biocompatibilidade, apenas um artigo conduziu experimentos in vivo, utilizando modelo animal (camundongos Wistar) para verificar o efeito gastroprotetor.

Figura 1. Diagrama de fluxo do processo de busca bibliográfica e seleção de estudos.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 1 apresenta a caracterização dos cinco estudos incluídos, mostrando que o pseudofruto e os resíduo fibroso de *A. occidentale* apresenta polissacarídeo e frações

polissacarídicas como lignina, pectina e complexo proteína-polissacarídeo, com composição rica em glicose e ácido galacturônico, boa estabilidade térmica, sem efeito citotóxico, e com boas propriedades funcionais na formação de gel e com boa eficiência de encapsulação.

De acordo com os dados na tabela 1, Sabino et al. (2020), Zie et al. (2025) e Albuquerque et al. (2024) utilizaram o resíduo fibroso para obter polissacarídeo, complexo proteína-polissacarídeo e pectina, respectivamente, já o pseudofruto foi fonte de obtenção de pectina e lignina mostrando que essas fontes apresentam potencial para obtenção de compostos ativos e funcionais (Tamiello-Rosa et al., 2019; Ribeiro et al., 2021).

Tabela 1. Caracterização dos estudos incluídos

Autor/Ano	Tipo de Polissacarídeo	Método de Extração	Condições de extração	Rendimento (%)	Caracterização	Principais resultados	Aplicação
Sabino et al., 2020	Polissacarídeo hidrossolúvel do resíduo fibroso	Extração por água quente	Solvente: água quente Proporção(vegetal/solvente): 5% m/v Temperatura: 90°C Agitação mecânica Duração: 10 horas Precipitação: 1:3 (extrato/etanol) Secagem: 40 °C por 48 horas	7 %	MEV, TGA, FTIR, RMN, CPC, composição de monossacarídeos, Atividade Antioxidante Citotoxicidade	-Proporção molar dos monossacarídeos (Arabinose:Galactose:Glicose) foi de 1.00:1.00:2.17 -Degradação final de 2,6% a 657°C - Peso molecular de 8.86 x 10^4 g mol−1 -Presença de resíduo de ácido galacturônico -Sem efeito citotóxico concentrações de 0.50 e 1.00 g/mL - Atividade antioxidante de 147 μM Trolox.g−1 -Efeito gastroprotetor com aumento significativo nos níveis de glutationa (GSH) (62.0%)	- Terapia gastroprotetora
Tamiello-Rosa et al., 2019	Pectina do pseudofruto	Extração por água quente	Solvente: água quente Proporção(vegetal/solvente): 195 g de pó liofilizado/ 1L água Temperatura: 100°C Sem agitação mecânica Duração: 7 ciclos de 2 horas Precipitação: 1:3 (extrato/etanol) Secagem: liofilização	6,5%	Composição de monossacarídeo, RMN, CG-MS, HPSEC,	- Homogalacturonana altamente metilada com um grau de esterificação (DE) de 76% - Peso molecular relativo de 68 kDa	-Potencial aplicação como probiótico
Zie et al., 2025	Complexo proteína-polissacarídeo do resíduo fibroso	Extração assistida por ultrassom	Solvente: água Proporção(vegetal/solvente): 1:25 (m/v) pH de 11 Temperatura: 40°C Com agitação Duração: 3,82 horas Precipitação: água deionizada com ajuste de pH Secagem: liofilização	55,12%	HPSEC, FTIR-MIR, RMN, CG/MS, DSC, Medida de tensão superficial, tamanho médio de partícula, índice de polidispersão, potencial	- Composição: galactose, arabinose, e alta presença de arabinogalactanas-proteínas, semelhante a goma arábica; - Tensão interfacial de 21,32 mN/ m - Tamanho médio de partícula de 365,1 nm, boa dispersibilidade	-Potencial aplicação como emulsificante, estabilizador, e formador de filme.

					zeta		
Ribeiro et al., 2021	Pectina do pseudofruto	Extração química assistida por calor	Solvente: oxalato de amônio/ácido oxálico 0,25% Proporção(vegetal/solvente): 1:4 (m/v) pH de 4.6 Temperatura: 80°C Com agitação Duração: 2 horas Precipitação: 1:3 (extrato/etanol) Secagem: spray drying	11,85%	Composição de monossacarídeos, RMN, propriedades reológicas, viscosidade intrinseca, FTIR, DRX, análise térmica, MEV, isolamento de neutrófilos humanos, teste de lactato desidrogenase	-Pectina rica em ácido galacturônico; - Comportamento pseudoplástico e alta taxa de cisalhamento; - Polissacarídeo amorfo com partículas semiesféricas; -Não apresentou toxicidade significativa; -Eficiência de encapsulamento de 81,55%;	- Proporciona liberação prolongada de compostos ativos
Albuquerque et al., 2024	Lignina do resíduo fibroso	Extração por hidrólise ácida e tratamento alcalino	Pré tratamento ácido: ácido sulfúrico 0,6 mol/L a 121 °C por 30 minutos. Tratamento alcalino: hidróxido de sódio 4 % p/v a 121 °C Precipitação: com H2SO4 a 72 % v/v com pH 2 Secagem: a 60 °C por 24 horas	33%	MEV, Espectroscopia de raios X, FTIR, grau de inchaço, determinação de porosidade, taxa de transmissão de água, liberação de lignina, avaliação reológica, citotoxicidade, atividade antimicrobiana, biocompatibilidade	-Não apresenta citotoxicidade -Permite formulação de hidrogel com poros -Rápido inchaço e alta capacidade de retenção -Porosidade de 55% (hidrogel com 3% de lignina) -Taxa de transmissão de água 173 g/m ^{2} /h -Reduzir significativamente a contagem de *E. Coli* e inibiu o crescimento de *S. aureus*.	-Curativos de feridas

Legenda: Microscopia eletrônica de varredura (MEV), Termogravimetria (TGA), Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), Ressonância Magnética Nuclear (RMN), Cromatografia de Permeação em Gel (CPC), Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-MS), cromatografia de exclusão de tamanho de alta eficiência (HPSEC), Calorimetria diferencial de varredura (DSC), Difração de raios X (DRX).

Os estudos encontrados usaram métodos diversos de extração, que impactam diretamente no rendimento obtido, sendo a extração assistida por microondas o método com maior rendimento (55,12%) para complexo proteína-polissacarídeo do resíduo fibroso (Zie et al., 2025), já a extração convencional resulta em rendimentos menores como 7% para polissacarídeo do resíduo fibroso (Sabino et al., 2020) e 6,5% para pectina do fruto (Tamiello-Rosa et al., 2019). A utilização de solventes melhora a eficiência de extração, como foi possível observar na hidrólise ácida e tratamento alcalino realizada com o resíduo fibroso com obtenção de 33% de lignina (Albuquerque et al., 2024), e um resultado intermediário foi observado usando extração química assistida por calor onde foi obtido 11% de rendimento para extração de pectina do fruto (Ribeiro et al., 2021). Esses resultados evidenciam que métodos de extração mais avançados são mais eficientes na obtenção das frações polissacarídicas e que a utilização de solventes pode ser usada para extrair frações específicas do polissacarídeo.

As condições de extração também influenciam nas propriedades finais do polissacarídeo obtido, extrações assistidas por ultrassom conseguem obter maior rendimento e compostos bioativos (Bahrami et al., 2025). Extrações mais brandas usando água quente são mais econômicas, ecológicas, acessíveis e causam poucos danos ao polissacarídeo, no entanto dependente de maior tempo de extração (Wang, Huang, Zhan, 2025). Extrações ácidas ou alcalinas geralmente utilizam altas temperaturas que podem comprometer a estrutura e propriedades do polímero obtido (Shi et al., 2025).

Condições mais agressivas como hidrólise ácida e tratamento alcalino, mesmo com alto rendimento pode comprometer características essenciais para aplicação do polissacarídeo. Abordagens mais brancas como extração assistida por microondas permitiu a extração de complexo proteína-polissacarídeo com boas propriedades emulsionantes e estabilizadora semelhante a goma arábica (Zie et al., 2025).

Devido à escassez de patentes relacionadas ao resíduo do pseudofruto e ao polissacarídeo do *A. occidentale,* foram incluídas invenções usando goma obtida do exsudato da casca da planta por se tratar de um polissacarídeo (tabela 2), que foi usado em uma patente brasileira para a produção de um sistema nanoparticulado usando a goma modificada, com a finalidade de tratar HIV pediátrico (Garcia et al., 2022). Esse polissacarídeo também foi usado por inventores brasileiros para a produção de hidrogel combinado com quitosana para liberação prolongada e tratamento de feridas (Cunha et al., 2017).

Apenas em uma invenção que aplicou a goma do *A. occidentale* na produção de um *scaffold*, a goma foi modificada e a quitosana participou como adjuvante na formulação, o *scaffold* produzido foi destinado para liberação de células tronco mesenquimais, essa patente

brasileira reivindica o processo de produção com esses polímeros e a aplicação (Carvalho et al., 2018).

Após a análise nas bases de patentes ficou evidente que o uso do bagaço de caju ainda é pouco explorado, sendo identificado em apenas uma invenção voltada para produção de um extrato hidroalcoólico. Não foram encontradas patentes que descrevem a extração do polissacarídeo do bagaço de caju, tampouco sua aplicação na produção de *scaffolds*. Cenário observado na prospecção de Oliveira et al. (2020) que ao realizar uma prospecção tecnológica sobre o bagaço e goma de caju, também evidenciou escassez de estudos e patentes relacionadas a esse material, no momento de sua revisão nenhuma patente foi encontrada com essa matéria prima, o que reforça a lacuna tecnológica e a oportunidade de novas investigações.

Tabela 2- Caracterização das patentes incluídas.

Código da patente	Título da patente	País	Ano de publicação	Tipo de polissacarídeo	Método de extração	Aplicação	Principais reivindicações	Status
BR1020170 12139 | A61L 27/00	Matriz porosa desenvolvida à base de quitosana e polissacarídeo exsudato da *Anacardium occidentale* l. Modificado com anidrido ftálico para cultivo de células-tronco mesenquimais	Brasil	2018	Goma	-	Matriz de suporte para o cultivo de células	Matriz porosa produzida com goma modificada	ativa
BR 1020210047 78-0 A2/A61K 47/36	Sistemas nanoparticulados a partir do polissacarídeo modificado de *Anacardium occidentale* l. (goma do cajueiro) para o tratamento do hiv pediátrico	Brasil	2022	Goma	Dissolução em água com ajuste de pH	Nanopartículas poliméricas	A obtenção de nanopartículas produzidas com goma do cajueiro para tratamento de HIV pediátrico	ativa

BR 1020140140 09-3 A2/ A61K 36/22;	Hidrogel a base de polissacarídeos naturais, processos e usos	Brasil	2017	Goma		Hidrogel para liberação prolongada para tratamento de feridas	o hidrogel produzido com goma de cajueiro e quitosana e o processo de obtenção	ativa

Fonte: Elaborada pelo autor.

Métodos de extração de polissacarídeos do bagaço e do pseudofruto do caju

Extração por água quente seguida da precipitação com etanol é a técnica mais convencional para extrair polissacarídeos, demanda equipamentos simples, é econômica, e mais segura, nesta técnica a matéria prima é colocada em contato com a água sob aquecimento. O tempo de extração, a temperatura e a proporção de material sólido e água são variáveis determinantes que irão influenciar diretamente na eficiência e rendimento final (Gong Et Al., 2020; Zhao et al., 2025). Contudo apresenta algumas desvantagens como a necessidade de longas horas de extração, temperaturas altas acima de 150°C, que podem degradar o polissacarídeo comprometendo sua bioatividade e baixo rendimento (Tepsongkroh et al., 2023).

O estudo de Sabino et al. (2020) realizou a extração de polissacarídeos de resíduos de fruta, entre eles o bagaço de *A. occidentale* que apresentou condições ótimas de extração usando 5% p/v de material vegetal e água, a 90°C sem fervura, sob agitação durante 10h de extração. Obtendo 7 % de rendimento sendo considerado baixo, esse rendimento é semelhante ao encontrado por Tamiello-Rosa et al. (2019) que obteve 6,5% de rendimento ao extrair pectina do pseudofruto de *A. occidentale* por esse mesmo método durante 2h a temperatura de 100°C. Tanto o polissacarídeo como a pectina obtidos apresentam em sua composição arabinogalactanas que sugere boa solubilidade em água com potencial capacidade de formar geis e emulsões, além de que os dois estudos mostram a eficiência desse método na extração de polissacarídeos com propriedades bioativas e composição preservada.

Para superar as limitações do método de extração por água quente, foi-se desenvolvendo combinações com outros equipamentos para melhorar sua eficiência, como na extração assistida por ultrassom que além de aumentar a eficiência economiza tempo (Du et al., 2025). A combinação do efeito mecânico, térmico e de cavitação gerado pelo ultrassom acelera a ruptura da parede celular vegetal, provocando a liberação dos componentes (Yang et al., 2024). Para esse método o tempo de extração é uma variável importante pois pode provocar a degradação do polissacarídeo, outra desvantagem é o custo do equipamento (Zhou et al., 2025).

Esse método foi usado por Zie et al, (2025) e mostra a real eficiência de extração através do rendimento de 55 % obtida de complexo proteína polissacarídeo, superior aos outros métodos encontrados nessa revisão. O estudo ainda analisou as variáveis, sendo definido que a temperatura de 40°C, pH em 11, proporção 1:25 (vegetal/solvente) como as condições ideias, obtendo um complexo com propriedades bem semelhantes à goma arábica, com potencial de aplicação como emulsificante e estabilizador.

A extração ácida a quente é usada para obtenção de pectina, um polissacarídeo presente em cascas de frutas, esse processo envolve a preparação prévia do material vegetal, seguida da

extração com solução ácida aquecida e posterior a recuperação com solvente. É uma técnica que possui ótima eficiência de extração por realizar controle rigoroso de pH e temperatura, quando não controlado, essas variáveis podem influenciar nas propriedades finais da pectina (Cardoso et al., 2024; Dixit; Muruganandam; Ganesh, 2025).

A eficiência dessa técnica foi observada por Ribeiro et al. (2021) que obteve 11% de rendimento na extração de pectina do pseudofruto do caju, com boa capacidade de gelificação eficiente na encapsulação de compostos ativos. A extração de lignina também envolve a utilização de solventes, Albuquerque et al (2024) obteve 35% de rendimento ao extrair lignina do bagaço de caju, com ótima estabilidade térmica, biocompatibilidade e atividade antimicrobiana.

Propriedades químicas e físicas

A caracterização de polissacarídeos permite identificar as características químicas e físicas sendo etapa fundamental para identificar as propriedades bioativas e direcionar a aplicações, diversas metodologias analíticas são usadas para essa finalidade, uma delas e a microscopia eletrônica de varredura que fornece imagens em escala de milímetros a nanômetros, técnica fundamental para visualizar a morfologia de polissacarídeos e outros materiais, e tem grande relevância para a ciência e indústria (Kitta, 2024).

Essa técnica detecta a morfologia por elétrons secundários que fornecem dados sobre a topografia e morfologia da superfície da amostra e elétrons retro dispersos que permitem análises quantitativas por meio do contraste das imagens (Wang et al., 2024). Essa técnica é importante para análise da morfologia e sua relação com as propriedades funcionais e possíveis aplicações dos polissacarídeos (Salehi; Rashidinejad, 2025).

Outra metodologia poderosa para caracterização de polissacarídeos é a análise termogravimétrica (TGA), esse ensaio fornece dados sobre a estabilidade térmica do polissacarídeo, como perfil de degradação, perda de massa, composição e umidade, características fundamentais para a aplicação farmacêutica desses polímeros (Li et al., 2023). Técnicas espectroscópicas como espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) e Ressonância Magnética Nuclear (RMN) são fundamentais para os polissacarídeos, o FTIR fornece dados sobre a estrutura química do polissacarídeo, por meio da identificação de grupos funcionais e ligações químicas como hidroxila, carboxila e glicosídica (Huang; Yu, 2024).

Já o RMN é capaz de elucidar estruturas orgânicas sendo fundamental para os polissacarídeos para definir a composição monossacarídica, e identificar ramificações, essas técnicas espectroscópicas proporcionam dados estruturais precisos e aprofundados, impactando

diretamente na definição das atividades biológicas e tecnológicas por estabelecer uma relação estrutura atividade fundamental para esse biomaterial (Salehi; Rashidinejad, 2025).

Os métodos cromatográficos são usados para determinar as característica físico-químicas dos polissacarídeos, como a composição monossacarídica, peso molecular, ligações glicosídicas e ramificação, importantes parâmetros para a bioatividade (Gao et al., 2025)**.** Dentre esses métodos a cromatografia de permeação em gel (CPC) é uma das mais utilizadas para determinar o peso molecular aparente, por meio da separação, usando diferentes poros. Os polissacarídeos de maior tamanho são eluídos primeiro, e os menores passam por mais poros e são eluídos posteriormente (Chen et al., 2024).

A cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (CG/MS) analisa frações menores dos polissacarídeos trazendo informações precisas sobre peso molecular e a estrutura (YI et al., 2024), assim como a cromatografia de exclusão de tamanho de alta eficiência (HPSEC), esses dados são importantes pois influenciam nas propriedades reológicas e bioactivas (Nerea Muñoz-Almagro et al., 2018).

Os monossacarídeos são as menores unidades dos polissacarídeos, são responsáveis pelas atividades biológicas e por isso é tão importante sua caracterização (Wu et al., 2024). os principais monossacarídeos são pentoses (ribose, arabinose e xilose), hexoses (Glicose, galactose, manose, frutose, ramnose e fucose) e ácido urônico, os métodos de extração envolvem hidrólise química, e a quantificação pode ser feita por HPAEC, HPLC, GC, CE (Liu et al., 2021).

Essa metodologia também é empregada para a extração e identificação da pectina, polissacarídeo presente em cascas de frutas que apresenta composição homogalacturonano (HG), xilogalacturonano (XGA), ramnogalacturonano I (RG-I) e ramnogalacturonano II (RG-II) (WU et al., 2024). A pectina apresenta grau de esterificação que varia de acordo com sua composição de ácido galacturônico, essa característica influencia as propriedades reológicas como a capacidade de gelificação e emulsificação (Zhang; Liao; Qi, 2025).

Proteínas e polissacarídeos possuem a capacidade de formar complexos de forma natural a depender da carga e polaridade do polímero, (Chen et al., 2025) esse tipo de interação ocorre por ligações covalentes e não covalentes, neste segundo caso os complexos apresentam melhor solubilidade, capacidade de formar géis, emulsões e espuma (Babu et al., 2024). Esses complexos vêm ganhando cada vez mais destaque, tanto quando são extraídos de fontes naturais quanto quando são produzidos em laboratório. Isso se deve às suas características superiores, especialmente no que diz respeito às propriedades funcionais e reológicas (Ma, Habibi e Sagis, 2025; Zie et al., 2025).

O rendimento da extração de polissacarídeos pode variar significativamente conforme as condições empregadas no processo, incluindo temperatura (entre 40 e 121°C) (Albuquerque et al., 2024; Zie et al., 2025), pH (neutro, básico ou alcalino), tempo de extração (entre 30 min e 10 horas) (Albuquerque et al., 2024; Sabino et al., 2020) e tipo de solvente utilizado. Os métodos mais comuns utilizam água, mas solventes ácidos ou básicos também podem ser usados, no entanto podem provocar alterações no polissacarídeo obtido afetando as propriedades funcionais (Zhang et al., 2025). O uso de solventes ácidos ou básicos impacta diretamente no rendimento, em condições ácidas pode favorecer a hidrólise das ligações glicosídicas, enquanto condições alcalinas podem promover a solubilização seletiva de determinados polímeros (Zhang et al., 2024).

O tempo de extração também é um fator importante, longos tempos de extração resultam em maior rendimento, mas pode provocar a degradação dos polissacarídeos dependendo do solvente e método de extração (Yang et al., 2024). A escolha do solvente modula o tipo de polissacarídeo que será extraído, a extração usando água quente é usada para obter polissacarídeo solúvel em água, soluções ácidas removem polissacarídeo presente na parede celular, já solventes alcalinos apresentam maior rendimento devido a sua maior capacidade extratora (Yusoff; Shafie, 2024). Dessa forma, a otimização desses parâmetros é essencial para garantir um equilíbrio entre alto rendimento e preservação das propriedades estruturais e funcionais dos polissacarídeos extraídos (Zhang et al., 2024).

Os polímeros naturais possuem propriedades importantes para a formulação de *scaffolds* por possuírem propriedades físicas que permitem o bom desempenho desses biomateriais (Shubham Sonwane et al., 2025). Algumas propriedades são essenciais para esses biomateriais como a solubilidade, biocompatibilidade e não toxicidade que estão presentes em polímeros naturais, essas propriedades permitem que o *scaffold* libere o ativo incorporado no local aplicado ao mesmo tempo em que se degrada sem gerar componentes tóxicos, a solubilidade em água melhora a adesão celular e essas propriedades juntas resultam em maior adesão celular e fixação desse biomaterial (Suamte et al., 2023; Babu; Shanmugavadivu; Selvamurugan, 2024).

Conhecer a estabilidade térmica e o comportamento de degradação dos polissacarídeos é fundamental para sua aplicação, a estabilidade térmica depende da composição química e presenças de grupos funcionais (Iqbal et al., 2013), que garantem a resistência desse material a altas temperaturas sem comprometimento da sua funcionalidade e estrutura (Corazzari et al., 2015). A degradação de polissacarídeos é uma estratégia útil para melhorar a funcionalidade, pode ser realizada por hidrólise ácida, enzimática, métodos físicos como ultrassom, irradiação

por microondas e fermentação microbiana, o perfil de degradação pode ser afetado por fatores como pH, temperatura, pressão, concentração de polissacarídeos e outros, essa característica permite que o material se decomponha no organismo de forma gradual (Xu et al., 2019; Chen et al., 2021).

Polissacarídeos de fontes naturais, sobretudo os extraídos de vegetais, apresentam uma variedade de atividades biológicas como antibacteriana (Lu et al., 2024), antiinflamatória (Keltoum Alliouche Kerboua et al., 2021), antioxidante (Li et al., 2018), antidiabética (Wang et al., 2020), antitumoral (Wu et al., 2022), modulador imunológico (Schepetkin et al., 2023) e antienvelhecimento (Zhu et al., 2020). O potencial terapêutico deste polímero depende de sua estrutura química, peso molecular e conformação de cadeia (Shi et al., 2024; Tang et al., 2024). Essas propriedades somadas à diversidade estrutural, tornam esse polímero promissor em sua aplicação, principalmente na indústria farmacêutica (Han et al., 2024).

A citotoxicidade de polissacarídeos naturais é característica fundamental para sua aplicação biomédica, esses polímeros apresentam baixa citotoxicidade e boa biocompatibilidade permitindo seu uso na formulação de dispositivos e formas farmacêuticas (Koyyada; Orsu, 2021). Mesmo sendo uma fonte promissora é ideal que todo novo polissacarídeo seja testado quanto a citotoxicidade para garantir segurança em suas aplicações (Frigaard et al., 2022).

Cajucultura – produção, geração de resíduos e potencial de aproveitamento

A produção de caju no Brasil é de grande importância econômica e social, principalmente na região nordeste, onde a produção é proveniente de pequenas culturas que comercializam a castanha e usam o pseudofruto para à produção de bebida clarificada e outros produtos (Freire et al., 2002). Essa cultura se adapta muito bem em períodos de seca, garantindo a renda pela comercialização dos produtos derivados, mesmo nas épocas de maior escassez hídrica no Nordeste (Sales et al., 2025).

A castanha é o produto de interesse principal, responsável por gerar um beneficiamento de aproximadamente 170 mil toneladas ao ano (De Figueiredo, 2006), a cajucultura compreende todas as etapas de processamento da amêndoa além do aproveitamento do pedúnculo (Souza Filho et al., 2010). Em 2023 o Brasil produziu 127.931 toneladas de castanha, resultando em uma produção de R$ 453.163 mil reais (IBGE), Ceará, Rio Grande do Norte e Piauí lideram a produção. Cada tonelada de castanha gera de 10 a 15 toneladas de pedúnculo, considerado pseudofruto, que é usado na produção de sucos, bebida clarificada, doces, licores e geléias (Gutiérrez-Paz et al., 2024).

Essa cadeia produtiva gera um resíduo fibroso, lignocelulósico que representa aproximadamente 20% do peso do pseudofruto (Sharma et al., 2020; Da Silva; De Brito e Ferreira, 2023). A cada 100 g de pedúnculo apenas 40 g é processada, o restante é descartado, o que representa um grande volume de resíduos (Oliveira; Mothé; Mothé, 2020). Esse resíduo gera um dos maiores volumes de rejeito, sendo aproveitado apenas para a alimentação animal, mas boa parte ainda é descartado pela alta perecibilidade (Santos et al., 2007).

O descarte de resíduos de frutas pode gerar problemas ambientais pelo grande volume de resíduos, teor de umidade e contaminação microbiana, podendo contaminar o solo se descartado em aterro sanitário a incineração desses resíduos gera gases prejudiciais ao meio ambiente (Nirmal et al., 2023; Russo et al., 2021). Esse resíduo apresenta celulose e lignocelulose, além de possuir componentes residuais como taninos, flavonóides, carotenóides e ácido anacárdico (Reina et al., 2022; Sousa et al., 2021), indicando seu potencial de aproveitamento na extração de compostos bioativos, sendo uma fonte de baixo custo (Jeyavishnu et al., 2021).

O aproveitamento desse resíduo agrega valor à cadeia produtiva, além de ser fonte de produtos e compostos ativos que podem ser usados na indústria alimentícia e farmacêutica (Aslam et al., 2024) além de contribuir com práticas sustentáveis com a valorização de resíduos industriais (Medeiros et al., 2024). O reaproveitamento gera impacto não apenas social e ambiental, como também gera produtos com alto valor agregado, potencializando a cadeia produtiva criando oportunidades econômicas (Leong; Chang, 2022; Suri; Singh; Nema, 2022)**.**

Aplicação em *scaffolds* biomédicos

A espécie *A. occidentale* é uma fonte promissora para obtenção de polissacarídeos, que podem ser obtido de duas principais fontes: a goma extraída do exsudato do caule, um polímero amplamente usado em diversas aplicações farmacêuticas, cosméticas e alimentícia devido às suas propriedades emulsificantes e estabilizante (Mathavan; Hafiz Bin Hassan, 2024), e o resíduo fibroso do pseudofruto, um subproduto do processamento do caju, apesar do seu potencial ainda é pouco explorado (Sabino et al., 2020). Esses biopolímeros apresentam potencial de aplicação na produção de *scaffolds* poliméricos para aplicações biomédicas (Shang; Wang; Mao, 2024).

A goma oxidada de *A. occidentale* foi combinada com quitosana por Rhamon et al. (2021) para obtenção de *scaffold* por liofilização, apresentando porosidade adequada para adesão e proliferação de células, além de apresentar boas propriedades mecânicas e taxa de degradação favorável à aplicação na regeneração de tecidos. A goma também foi usada por Da Rocha et al. (2023) para produção de *scaffold* enriquecido com hidroxiapatita, obtidos por

liofilização esse *scaffold* apresentou além de boas propriedades mecânicas e porosidade também possui baixa citotoxicidade e a presença de hidroxiapatita favorece aplicação óssea.

O polissacarídeo extraído do resíduo fibroso, embora ainda não tenha sido usada na produção de *scaffolds* apresenta baixa citotoxicidade frente a células epiteliais IEC-6, apresenta composição monossacarídica que indica boa biocompatibilidade, possui morfologia compacta e levemente enrugada e peso molecular que influencia na taxa de degradação do biomaterial (Sabino et al., 2020). Já a pectina extraída do pseudofruto de *A. occidentale* demonstra capacidade de formação de géis, propriedade importante para sistemas de liberação de fármacos. Seu comportamento reológico pseudoplástico, caracterizado por redução de viscosidade com aumento da taxa de cisalhamento, favorece a formação de estruturas como filmes e *scaffolds*. O perfil reológico somado a biocompatibilidade e baixa citotoxicidade evidenciam o potencial desse biopolímero em aplicações biomédicas (Ribeiro et al., 2021).

Albuquerque et al. (2024) produziram um curativo para tratamento de feridas usando a lignina extraída do bagaço de *A. occidentale* apresentando biocompatibilidade, atividade antimicrobiana frente a *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*, aumento da viabilidade para células L929, boa taxa de transmissão de vapor de água que favorece o processo de cicatrização. esses resultados destacam o potencial de resíduo de *A. occidentale* na produção de biomateriais poliméricos como *scaffolds*, uma vez que esse resíduo é fonte de polissacarídeos com propriedades funcionais e biológicas.

Os polímeros naturais apresentam vantagem de serem biodegradáveis, biocompatíveis e possuem atividades biológicas compatíveis com sua origem de extração as desvantagens desses polímeros são as limitações de padronização por sua origem natural e propriedades físicas e químicas; no entanto, essas limitações podem ser superadas através de modificações químicas e misturas com outros polissacarídeos (Benalaya et al., 2024). Os polímeros sintéticos possuem maior facilidade de controle das características físicas e químicas, mas não apresentam atividades biológicas e podem não ser biocompatíveis (Murphy et al., 2017).

DESAFIOS E LIMITAÇÕES

O polissacarídeo do resíduo fibroso de *A. occidentale* é um rejeito industrial ainda pouco explorado para extração de polissacarídeos, tanto na literatura científica como tecnológica, trazendo novos desafios. Com limitações relacionadas a eficiência dos métodos de extração e falta de padronização quanto aos parâmetros usados neste processo, bem como a taxa de rendimento. A variabilidade de rendimentos pode estar relacionada a heterogeneidade do material vegetal, ausência de pré-tratamento adequado, e falta de padronização de parâmetros críticos de extração. Além disso, ensaios de caracterização e ensaios *in vitro* e *in vivo* ainda são incipientes, sendo raros os estudos que investigam propriedades como biodegradabilidade, biocompatibilidade, citotoxicidade e imunogenicidade. Mesmo com essas limitações, o uso de um resíduo vegetal rico em polissacarídeo representa uma alternativa sustentável frente a polímeros sintéticos, que nem sempre apresentam boa compatibilidade biológica. Com maior elucidação das características físico-químicas e biológicas, o polissacarídeo do resíduo fibroso de *A. occidentale* apresenta potencial para compor formulações inovadoras.

CONCLUSÃO

A presente revisão permitiu reunir os achados científicos e tecnológicos relacionados à extração, caracterização e aplicação do polissacarídeo extraído do bagaço de *A. occidentale*, observou-se que o pseudofruto e seu resíduo tem chamado atenção para extração de polissacarídeo, que apresenta rendimento mais favorável pelo método assistido por microondas, esse resíduo é fonte de polissacarídeos como lignina, pectina e complexo proteína-polissacarídeo que apresentam composição monossacarídica bem semelhante, baixa toxicidade, boa estabilidade térmica, boa capacidade de gelificação, e atividade gastroprotetoras. Mesmo com uma lacuna na literatura e em bases tecnológicas quando se trata da aplicação deste polímero mostra que ele possui as propriedades necessárias e favoráveis a produção de *scaffolds* poliméricos, destacando o potencial desse resíduo agroindustrial na produção de biomateriais de alto valor agregado.

REFERÊNCIAS

ABDELAZIZ, A. G. et al. Enhanced wound healing with flaxseed extract-loaded polyvinyl alcohol nanofibrous scaffolds: Phytochemical composition, antioxidant activity, and antimicrobial properties. **Journal of Science: Advanced Materials and Devices**, v. 10, n. 2, p. 100862, 2025.

ALBUQUERQUE, T. L. et al. Hydrogels based on lignin extracted from cashew apple bagasse and its application in antimicrobial wound dressings. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 262, p. 130169–130169, 2024.

ANGELI, R. F. et al. Antitumor activity of polysaccharides obtained from guavira fruit industrial waste on murine melanoma cells. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, v. 33, p. 100469–100469, 2025.

ARAÚJO, R. et al. Microencapsulation of phenolic compounds from cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) agro-food waste: Physicochemical characterization, antioxidant activity, biodisponibility and stability. **Food Chemistry Advances**, v. 3, p. 100364, 2023.

ARGUN, M. E.; ARGUN, M. Ş.; ATES, H. Zero waste principle for the fruit processing industry: Recovery, advanced conversion and revalorization approaches. **Journal of Water Process Engineering**, v. 71, p. 107243, 2025.

ASADPOUR, S. et al. Natural biomacromolecule based composite scaffolds from silk fibroin, gelatin and chitosan toward tissue engineering applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 154, p. 1285–1294, 2020.

ASLAM, N. et al. Exploring the potential of cashew waste for food and health applications- A review. **Future foods**, p. 100319–100319, 2024.

BABU, S.; SHANMUGAVADIVU, A.; SELVAMURUGAN, N. Tunable mechanical properties of chitosan-based biocomposite scaffolds for bone tissue engineering applications: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 272, p. 132820, 2024.

BAHRAMI, S. et al. Evaluation of the properties of polysaccharides extracted from brown macroalgae (Sargassum ilicifolium) by methods of conventional, microwave, and subcritical water extraction. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, p. 103975, 2025.

BENALAYA, I. et al. A Review of Natural Polysaccharides: Sources, Characteristics, Properties, Food, and Pharmaceutical Applications. I**nternational Journal of Molecular Sciences**, v. 25, n. 2, p. 1322–1322, 2024.

BIGLARI, N.; ZARE, E. N. Conjugated polymer-based composite scaffolds for tissue engineering and regenerative medicine. **Alexandria Engineering Journal**, v. 87, p. 277–299, 2024.

CARDOSO, J. et al. Pectin and Pectic Oligosaccharides (POS): Recent advances for extraction, production, and its prebiotic potential. **Trends in Food Science & Technology**, p. 104808–104808, 2024.

CARVALHO, M. A. M. et al. Matriz porosa desenvolvida à base de quitosana e polissacarídeo exsudado do Anacardium occidentale e moldada com amido/fitalato para

cultivo de células-tronco mesenquimais. BR 10 2017 012139 9 A2, 08 jun. 2017. **Universidade Federal do Piauí**. Publicado em: 26 dez. 2018. Disponível em: https://busca.inpi.gov.br/pePI/servlet/PatenteServletController?Action=detail&CodPedido=1420558. Acesso em: 20 fev. 2025.

CORAZZARI, I. et al. Advanced physico-chemical characterization of chitosan by means of TGA coupled on-line with FTIR and GCMS: Thermal degradation and water adsorption capacity. **Polymer Degradation and Stability**, v. 112, p. 1–9, 2015.

CUNHA, M. das G. C. et al. *Hidrogel à base de polissacarídeos naturais, processo e usos*. BR 10 2014 014009 3 B1, 10 jun. 2014. **Universidade Federal de Pernambuco; Universidade de São Paulo**. Concessão em: 10 nov. 2021. Publicado em: 10 out. 2017. Disponível em: https://busca.inpi.gov.br/pePI/jsp/patente/PatenteSearchBasico.jsp. Acesso em: 23 fev. 2025.

DA ROCHA, L. B. N. et al. Development of a new biomaterial based on cashew tree gum (Anarcadium occidentale L.) enriched with hydroxyapatite and evaluation of cytotoxicity in adipose-derived stem cell cultures. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 242, p. 124864, 2023.

DA SILVA, G. G. et al. Cashew apple byproduct: Gastroprotective effects of standardized extract. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 269, p. 113744, 2021.

DA SILVA, J.; DE BRITO, E. S.; FERREIRA, S. R. S. Biorefinery of cashew by-products: Recovery of value-added compounds. **Food and Bioprocess Technology**, v. 16, n. 5, p. 944-960, 2023.

DA SILVA, K. C. et al. Mapeamento tecnológico da espécie Anacardium occidentale: Análise prospectiva no Brasil e no mundo. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, p. e47511427669, 2022.

DE FIGUEIRÊDO JUNIOR, H. S.. Desafios para a cajucultura no Brasil: o comportamento da oferta e da demanda da castanha de caju. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 37, n. 4, p. 550-571, 2006.

DINORO, J. et al. Sulfated polysaccharide-based scaffolds for orthopaedic tissue engineering. **Biomaterials**, v. 214, p. 119214, 2019.

DONG, Q. et al. Polysaccharides, as biological macromolecule-based scaffolding biomaterials in cornea tissue engineering: A review. **Tissue and Cell**, v. 76, p. 101782, 2022.

DU, G. et al. Microwave-assisted extraction of dandelion root polysaccharides: Extraction process optimization, purification, structural characterization, and analysis of antioxidant activity. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 299, p. 139732, 2025.

EIVAZZADEH-KEIHAN, R. et al. Effects of mechanical properties of carbon-based nanocomposites on scaffolds for tissue engineering applications: a comprehensive review. **Nanoscale advances**, v. 6, n. 2, p. 337–366, 2024.

FRAGAL, E. H. et al. Magnetic-responsive polysaccharide hydrogels as smart biomaterials: Synthesis, properties, and biomedical applications. **Carbohydrate Polymers**, v. 292, p. 119665, 2022.

FREIRE, F. C. O. et al. Diseases of cashew nut plants (Anacardium occidentale L.) in Brazil. **Crop Protection**, v. 21, n. 6, p. 489–494, 2002.

FRIGAARD, J. et al. The Potential of Chitosan in Nanomedicine: An Overview of the Cytotoxicity of Chitosan Based Nanoparticles. **Frontiers in Pharmacology**, v. 13, 2022.

GARCIA K. L. C. et al. Sistemas nanoparticulados a partir do polissacarídeo modificado de Anacardium occidentale L. (goma do cajueiro) para o tratamento do HIV pediátrico. BR 10 2021 004778 0 A2, 12 mar. 2021. **Universidade Federal de Pernambuco**. Publicado em: 20 set. 2022. Disponível em: https://busca.inpi.gov.br/pePI/servlet/PatenteServletController?Action=detail&CodPedido=1600639. Acesso em: 23 fev. 2025.

GHASEMPOUR, A. et al. Stimuli-responsive carrageenan-based biomaterials for biomedical applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, p. 138920, 2024.

GONG, P. et al. Extraction methods, chemical characterizations and biological activities of mushroom polysaccharides: A mini-review. **Carbohydrate Research**, v. 494, p. 108037, 2020.

GURUMURTHY, B.; JANORKAR, A. V. Improvements in mechanical properties of collagen-based scaffolds for tissue engineering. **Current Opinion in Biomedical Engineering**, v. 17, p. 100253, 2021.

HAN, D. et al. Natural resourced polysaccharides: Preparation, purification, structural elucidation, structure-activity relationships and regulating intestinal flora, a system review. **International Journal of Biological Macromolecules**, p. 135956–135956, 2024.

HE, X. et al. Chemical structure and immunomodulatory activity of a polysaccharide from Saposhnikoviae Radix. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 276, p. 133459, 2024.

HUANG, R.; YU, H. Extraction methods, chemical compositions, molecular structure, health functions, and potential applications of tea polysaccharides as a promising biomaterial: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 277, p. 134150, 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Castanha-de-caju – cultivo*. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/castanha-de-caju-cultivo/br. Acesso em: 22 ago. 2025.

IQBAL, M. S. et al. Thermal analysis of some natural polysaccharide materials by isoconversional method. **Food Chemistry**, v. 140, n. 1-2, p. 178–182, 2013.

JEYAVISHNU, K. et al. Increased Revenue with High Value-Added Products from Cashew Apple (Anacardium occidentale L.)—Addressing Global Challenges. **Food and Bioprocess Technology**, v. 14, n. 6, p. 985–1012, 2021.

KERBOUA, K. A. et al. Anti-inflammatory and antioxidant activity of the hot water-soluble polysaccharides from Anacyclus pyrethrum (L.) Lag. roots. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 281, p. 114491–114491, 2021.

KITTA, M. Visualization of lithiated/delithiated particle distribution in Li4Ti5O12 electrode by ultralow-voltage scanning electron microscopy imaging. **Electrochemistry Communications**, p. 107849, 2024.

KOYYADA, A.; ORSU, P. Natural gum polysaccharides as efficient tissue engineering and drug delivery biopolymers. **Journal of Drug Delivery Science and Technology**, v. 63, p. 102431, 2021.

LEONG, Y. K.; CHANG, J.-S. Valorization of fruit wastes for circular bioeconomy: Current advances, challenges, and opportunities. **Bioresource Technology**, v. 359, p. 127459, 2022.

LI, L. et al. Antioxidant and antimicrobial potential of polysaccharides sequentially extracted from Polygonatum cyrtonema Hua. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 114, p. 317–323, 2018.

LI, Q. et al. A comparison study on structure-function relationship of polysaccharides obtained from sea buckthorn berries using different methods: antioxidant and bile acid-binding capacity. **Deleted Journal**, v. 13, n. 1, p. 494–505, 2023.

LI, X. et al. Structural characterization, antioxidant and antimicrobial activities of polysaccharide from Akebia trifoliata (Thunb.) Koidz stem. **Colloids and Surfaces B Biointerfaces**, v. 231, p. 113573–113573, 2023.

LU, Y. et al. Antibacterial activity of a polysaccharide isolated from litchi (Litchi chinensis Sonn.) pericarp against Staphylococcus aureus and the mechanism investigation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 279, p. 134788, 2024.

LUO, M. et al. Modifications of polysaccharide-based biomaterials under structure-property relationship for biomedical applications. **Carbohydrate Polymers**, v. 266, p. 118097, 2021.

MATHAVAN, J. J.; HASSAN, M. H. B. Thermal – chemical - mechanical characterization of Anacardium occidentale tree gum. **International Journal of Biological Macromolecules,** v. 271, p. 132396, 2024.

MATSUMURA, K.; RAJAN, R. Oxidized polysaccharides as green and sustainable biomaterials. **Current Organic Chemistry**, v. 25, n. 13, p. 1483–1496, 2021.

MENDES, D. T. S. L. et al. Extraction of *Anacardium occidentale*: A kinetic, thermodynamic, phytochemical identification, and antibacterial study. **Food Bioscience**, v. 62, p. 105336, 2024.

NIRMAL, N. P. et al. Valorization of Fruit Waste for Bioactive Compounds and Their Applications in the Food Industry. **Foods**, v. 12, n. 3, p. 556, 2023.

OLIVEIRA, L. G. et al. Ancient materials for new applications: The combination of montmorillonite with polysaccharides for biomedical uses. **Applied Clay Science**, v. 266, p. 107688, 2025.

OLIVEIRA, N. N.; MOTHÉ, C. G.; MOTHÉ, M. G. Sustainable uses of cashew tree rejects: cashew apple bagasse and cashew gum. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 2020.

OUZZANI, M. et al. Rayyan—a web and mobile app for systematic reviews. **Systematic Reviews**, v. 5, n. 1, p. 210, 2016. Disponível em: <https://rayyan.qcri.org>. Acesso em: [18 mar. 2025].

PAIVA, E. M. et al. Valorizing cashew nutshell residue for sustainable lignocellulosic panels using a bio-based phenolic resin as a circular economy solution. **Industrial crops and products**, v. 212, p. 118379–118379, 2024.

REINA, L. J. C. et al. Chemical composition and bioactive compounds of cashew (Anacardium occidentale) apple juice and bagasse from Colombian varieties. Heliyon, v. 8, n. 5, p. e09528, 2022.

RIBEIRO, A. C. B. et al. Cashew apple pectin as a carrier matrix for mangiferin: Physicochemical characterization, in vitro release and biological evaluation in human neutrophils. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 171, p. 275–287, 2021.

RHAMON, C. et al. Synthesis and characterization of scaffolds produced under mild conditions based on oxidized cashew gums and carboxyethyl chitosan. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 176, p. 26–36, 2021.

RUSSO, C. et al. The Second Life of Citrus Fruit Waste: A Valuable Source of Bioactive Compounds. Molecules, v. 26, n. 19, p. 5991, 2021.

SABINO, B. S. et al. Polysaccharides from acerola, cashew apple, pineapple, mango and passion fruit co-products: Structure, cytotoxicity and gastroprotective effects. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, v. 24, p. 100228, 2020.

SALEHI, M.; RASHIDINEJAD, A. Multifaceted roles of plant-derived bioactive polysaccharides: A review of their biological functions, delivery, bioavailability, and applications within the food and pharmaceutical sectors. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 290, p. 138855, 2025.

SALES, S. et al. Quantification of GHG Emissions Using Different Methodologies in Tropical Conventional Cashew Cultivation. **Sustainability**, v. 17, n. 7, p. 3042–3042, 2025.

SANTOS, R. P. et al. Production and characterization of the cashew (Anacardium occidentale L.) peduncle bagasse ashes. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 4, p. 1432–1437, 2007.

SHANG, L.; WANG, S.; MAO, Y. Recent advances in plant-derived polysaccharide scaffolds in tissue engineering: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 277, p. 133830, 2024.

SHARMA, P. et al. Valorization of cashew nut processing residues for industrial applications. Industrial Crops and Products, v. 152, p. 112550, 2020.

SHARMA, S. et al. Exploring the valorization of fruit bio-waste for sustainable utilization in agro-food industries: A Comprehensive Review. **Food Bioscience**, p. 105768–105768, 2024.

SHI, L. et al. Polysaccharides in fruits: Biological activities, structures, and structure-activity relationships and influencing factors-A review. **Food Chemistry**, p. 139408–139408, 2024.

SHI, X. et al. Comparative study of Idesia polycarpa Maxim cake meal polysaccharides: Conventional versus innovative extraction methods and their impact on structural features, emulsifying, antiglycation, and hypoglycemic properties. **Food Chemistry**, v. 471, p. 142745, 2025.

SOOD, A.; GUPTA, A.; AGRAWAL, G. Recent advances in polysaccharides based biomaterials for drug delivery and tissue engineering applications. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, v. 2, p. 100067, 2021.

SOUZA FILHO, H. M. et al. Barreiras às novas formas de coordenação no agrossistema do caju na região nordeste, Brasil. **Gestão & Produção**, v. 17, p. 229-244, 2010.

SONWANE, S. et al. Advances in Gelatin-based Scaffolds for Tissue Engineering Applications: A Review. **Journal of Drug Delivery Science and Technology**, p. 106789–106789, 2025.

SURI, S.; SINGH, A.; NEMA, P. K. Current applications of citrus fruit processing waste: A scientific outlook. Applied Food Research, v. 2, n. 1, p. 100050, 2022.

TANG, J. et al. Structural properties, bioactivities, structure-activity relationships and bio-applications of polysaccharides from Auricularia auricula: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 280, p. 135941, 2024.

TAMIELLO-ROSA, C. S. et al. Pectins from cashew apple fruit (Anacardium occidentale): Extraction and chemical characterization. **Carbohydrate Research**, v. 483, p. 107752, 2019.

TEPSONGKROH, B. et al. Impact of high pressure pre-treatment and hot water extraction on chemical properties of crude polysaccharide extract obtained from mushroom (Volvariella volvacea). **Food Chemistry: X**, v. 19, p. 100864, 2023.

WANG, H.; HUANG, G.; ZHANG, X. Analysis and properties of polysaccharides extracted from Brassica oleracea L. Var. Capitata L. By hot water extraction/ultrasonic-synergistic enzymatic method. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 114, p. 107244, 2025.

WANG, S.-M. et al. Standardization and quantification of backscattered electron imaging in scanning electron microscopy. **Ultramicroscopy**, v. 262, p. 113982, 2024.

WANG, Z. et al. Antioxidant and anti-inflammatory activities of an anti-diabetic polysaccharide extracted from Gynostemma pentaphyllum herb. **International Journal of Biological Macromolecules,** v. 145, p. 484–491, 2020.

XU, Y. et al. Structural characteristics, biological, rheological and thermal properties of the polysaccharide and the degraded polysaccharide from raspberry fruits. **International Journal of Biological Macromolecules,** v. 132, p. 109–118, 2019.

YANG, J. et al. Research progress on extraction techniques, structure-activity relationship, and biological functional mechanism of berry polysaccharides: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 282, p. 137155–137155, 2024.

YANG, L. et al. Plant polysaccharides as novel biomaterials for microcapsule construction and therapeutics delivery. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 625, p. 122137, 2022.

YUSSOF, M. H. MD; SHAFIE, M. H. A review of in vitro antioxidant and antidiabetic polysaccharides: Extraction methods, physicochemical and structure-activity relationships. **International Journal of Biological Macromolecules,** v. 282, p. 137143, 2024.

ZIÉ, M. et al. Valorization of cashew apple bagasse in food application: Focus on the use and extraction of nutritional or bioactive compounds. **Food and Humanity**, v. 1, p. 848–863, 2023.

ZHANG, M. et al. Ultrasound-assisted extraction of polysaccharides from *Ginkgo biloba*: Process optimization, composition and anti-inflammatory activity. **Heliyon**, v. 10, n. 18, 2024.

ZHAO, F. et al. Extraction, purification, characteristics, bioactivities, application, and toxicity of Gastrodia R. Br. polysaccharides: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, p. 140084, 2025.

ZHOU, H. et al. Ultrasound-assisted enzyme extraction of Dendrobium Officinale polysaccharides: Extraction process, characterization, immunomodulatory effects. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 114, p. 107248, 2025.

ZIE, M. et al. Characterization of a novel natural protein-polysaccharide complex from cashew apple bagasse and its functional implications. **Food Chemistry**, v. 464, p. 141861, 2025.

ZHANG, S. et al. Extraction, purification, structural characterization, and bioactivities of Radix Aconiti Lateralis Preparata (Fuzi) polysaccharides: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 292, p. 139285, 2025.

ZHANG, X. et al. Extraction, characterization, and neuroprotective effects of polysaccharides the stems of Panax ginseng C. A. Meyer by three different solvents (water, acid, alkali). **Industrial Crops and Products**, v. 222, p. 119512, 2024.

ZHANG, Z. et al. Extraction, purification, structural characteristics, and pharmacological activities of the polysaccharides from corn silk: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 274, p. 133433, 2024.

ZHU, Y. et al. Antioxidant and anti-aging activities of polysaccharides from Cordyceps cicadae. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 157, p. 394–400, 2020.

CAPÍTULO II: Extração, caracterização e desenvolvimento de *scaffold* a partir do polissacarídeo do resíduo fibroso do pseudofruto de *Anacardium occidentale*

RESUMO

Scaffolds são matrizes tridimensionais porosas empregadas como suportes para a incorporação e liberação controlada de fármacos e fatores de crescimento, devendo apresentar biocompatibilidade, biodegradabilidade e propriedades mecânicas adequadas ao sítio de aplicação. Polímeros naturais, em especial polissacarídeos, destacam-se nesse contexto por aliarem bioatividade intrínseca e capacidade de originar estruturas com características ideais. *Anacardium occidentale*, espécie nativa do Brasil, gera expressivo volume de resíduos durante o processamento de seu pseudofruto, geralmente descartados apesar de sua composição rica em polissacarídeos de interesse. Nesse cenário, o presente estudo teve como objetivo extrair e caracterizar físico-química e biologicamente o polissacarídeo obtido do resíduo fibroso do pseudofruto de *A. occidentale*, bem como utilizá-lo na produção de *scaffolds* destinados à liberação vaginal controlada de fluconazol. A extração do polissacarídeo foi realizada pelo método de extração em água quente, seguida de precipitação com etanol. A caracterização físico-química incluiu espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), microscopia eletrônica de varredura (MEV), fluorescência de raios X (FRX) e análise termogravimétrica (TGA). A caracterização biológica contemplou ensaios de atividade antioxidante, antimicrobiana e toxicidade *in vitro*. Para a produção dos *scaffolds*, foram preparados hidrogéis com blenda polimérica contendo polissacarídeo de *Anacardium occidentale*. Após 24 h de secagem, os hidrogéis foram submetidos à liofilização. Para as formulações contendo fármaco, o mesmo procedimento foi seguido, com posterior adição de 10% de fluconazol. A morfologia dos *scaffolds* foi avaliada por microtomografia computadorizada e MEV, enquanto a mucoadesividade *ex vivo* foi determinada utilizando tecido vaginal suíno. O rendimento do polissacarídeo extraído foi de 2,54 ± 1,54%. Os espectros de FTIR revelaram bandas características de grupos funcionais típicos de polissacarídeos. As análises morfológicas evidenciaram uma estrutura lamelar, composta por placas rugosas com superfícies irregulares e fragmentadas. A composição elementar indicou predominância de potássio (K), cálcio (Ca) e fósforo (P), enquanto a análise termogravimétrica demonstrou boa estabilidade térmica, com início de degradação a partir de 150 °C. No ensaio antioxidante, o polissacarídeo apresentou CE_{50} de 0,5688 ± 0,01mg/mL para a inibição de 50% dos radicais DPPH•. A avaliação de toxicidade em *Artemia salina* revelou mortalidade semelhante à do controle negativo, com CL_{50} de 11.283 µg/mL após 24 h e 4.911 µg/mL após 48 h de exposição. Os *scaffolds* apresentaram porosidade superior a 80% em todas as formulações, atendendo ao requisito essencial para aplicação biomédica. As imagens de MEV confirmaram a presença de uma rede de poros interconectados, com variações estruturais entre as formulações que influenciaram o perfil de liberação do fármaco. A mucoadesividade observada foi moderada, sugerindo a necessidade de futuras modificações na blenda polimerica. Assim, o polissacarídeo obtido do resíduo fibroso do pseudofruto de *A. occidentale* demonstrou propriedades físico-químicas e atividades biológicas promissoras, possibilitando a produção de *scaffolds* altamente porosos, com potencial aplicação no desenvolvimento de sistemas de liberação controlada de fármacos.

Palavras-chave: Polissacarídeo; Resíduos agroindustriais; Pseudofruto; Mucoadesividade.

ABSTRACT

Scaffolds are three-dimensional porous matrices used as supports for the incorporation and controlled release of drugs and growth factors, and must exhibit biocompatibility, biodegradability, and mechanical properties suitable for the site of application. Natural polymers, especially polysaccharides, stand out in this context due to their intrinsic bioactivity and ability to form structures with ideal characteristics. *Anacardium occidentale*, a species native to Brazil, generates a significant amount of residue during pseudofruit processing, which is usually discarded despite being rich in polysaccharides of interest. In this scenario, the present study aimed to extract and physicochemically and biologically characterize the polysaccharide obtained from the fibrous pseudofruit residue of *A. occidentale*, as well as to use it in the production of *scaffolds* for the controlled vaginal release of fluconazole. Polysaccharide extraction was performed using the hot water method followed by ethanol precipitation. Physicochemical characterization included Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), scanning electron microscopy (SEM), X-ray fluorescence (XRF), and thermogravimetric analysis (TGA). Biological characterization involved antioxidant, antimicrobial, and in vitro toxicity assays. For *scaffold* production, hydrogels were prepared with a polymeric blend containing the *A. occidentale* polysaccharide. After 24 h of drying, the hydrogels were freeze-dried. For drug-containing formulations, the same procedure was followed, with the subsequent addition of 10% fluconazole. *Scaffold* morphology was evaluated using computed microtomography and SEM, while ex vivo mucoadhesion was determined using porcine vaginal tissue. The extraction yield of the polysaccharide was 2.54 ± 1.54%. FTIR spectra revealed characteristic bands of functional groups typical of polysaccharides. Morphological analyses showed a lamellar structure composed of rough, irregular, and fragmented plates. Elemental composition indicated the predominance of potassium (K), calcium (Ca), and phosphorus (P), while thermogravimetric analysis demonstrated good thermal stability, with degradation onset at 150 °C. In the antioxidant assay, the polysaccharide exhibited an EC_{50} of 0.5688 ± 0.01 mg/mL for 50% inhibition of DPPH• radicals. Toxicity evaluation with *Artemia salina* revealed mortality rates similar to the negative control, with LC_{50} values of 11.283 µg/mL after 24 h and 4.911 µg/mL after 48 h of exposure. All scaffold formulations exhibited porosity greater than 80%, meeting the essential requirement for biomedical application. SEM images confirmed the presence of an interconnected porous network, with structural variations among formulations that influenced drug release profiles. Moderate mucoadhesion was observed, indicating the need for further modifications in the polymeric blend. In conclusion, the polysaccharide obtained from the fibrous pseudofruit residue of *A. occidentale* demonstrated promising physicochemical properties and biological activities, enabling the production of highly porous scaffolds with potential application in the development of controlled drug delivery systems.

Keywords: Polysaccharide; Agro-industrial waste; Pseudofruit; Mucosal adhesion.

INTRODUÇÃO

O *scaffold* polimérico é uma matriz tridimensional que servem como suporte para células promovendo a regeneração de tecidos (Chung; Park, 2007), permitindo também a incorporação e liberação de substâncias terapêuticas como fármacos, fatores de crescimento e moléculas bioativas, sendo de grande relevância para a engenharia de tecidos e para tratamentos mais direcionados (Prabaharan; Jayakumar, 2009; Calori et al., 2020).

Podem ser produzidos com polímeros sintéticos ou naturais, nos últimos anos a busca por materiais sustentáveis torna os polímeros naturais mais viáveis, além disso eles apresentam maior biocompatibilidade e bioatividade que polímeros sintéticos (Filippi et al., 2020). Para a produção de *scaffolds*, os polímeros naturais podem ser peptídeos, proteínas e polissacarídeos, esses últimos podem ser obtidos de fontes animais e vegetais, sendo favoráveis a produção de *scaffolds* sem a necessidade de modificações químicas (Reddy et al., 2021).

A variedade de fontes e a abundância dos polissacarídeos são outras características favoráveis à sua utilização, tendências recentes têm incentivado a obtenção desse polímero através do reaproveitamento de resíduos agroindustriais (Sabino et al., 2020). E vêm sendo cada vez mais usados na produção de *scaffolds* devido a sua porosidade, capacidade de retenção de água e biocompatibilidade com a matriz extracelular, biodegradabilidade, baixa imunogenicidade e baixo custo (Autissier et al., 2010; Tiwari; Patil; Bahadur, 2019).

A espécie *Anacardium occidentale* produz a castanha considerada fruto verdadeiro, e o pseudofruto, também chamado de polpa do caju, usado para obtenção de bebidas e outros produtos (Gutiérrez-paz et al., 2024). O processamento do pseudofruto gera grande volume de resíduo fibroso, que é descartado ou destinado à alimentação animal (Gutiérrez-Paz et al., 2024), embora apresente rica composição em polissacarídeos (Kuila et al., 2011), apresentando potencial de extração e aplicações biomédicas (De Menezes et al., 2025).

O bagaço do pseudofruto é composto por celulose (14,2%), cinzas (1,07%), açúcares redutores (7,25%), amido (4,28%) e umidade (58%) (Kuila et al., 2011); o pseudofruto apresenta alta atividade antioxidante e antiinflamatória; também possui rica composição de betacaroteno e antocianinas, indicando que esses compostos bioativos também podem estar presentes no bagaço (Gutiérrez-Paz et al., 2024; Schweiggert et al., 2016). Esse resíduo tem sido aplicado na produção de alimentos funcionais (Zié et al., 2023), na produção de xilitol

(Marques Júnior; Rocha, 2021), bioetanol (Da Costa et al., 2015), no entanto, ainda é pouco explorado para extração de polissacarídeos.

Os *scaffolds* podem servir como carreadores de células, substâncias ativas e fármacos, para terapia combinada à regeneração tecidual ou para liberação de fármacos em locais específicos (Teng et al., 2008). A liberação controlada de fármacos mantém os níveis terapêuticos ideais durante o tratamento, evitando múltiplas administrações, aumentando a segurança e eficácia do tratamento (Calori et al., 2020). A entrega de fármacos usando *scaffolds* permite aplicações locais evitando distribuição sistêmica, necessitando de doses menores evitando efeitos colaterais (Zhang et al., 2017). A incorporação de fármacos em *scaffolds* pode ocorrer durante a produção ou depois, sendo o carregamento de mistura a técnica mais acessível e de fácil execução, que consiste na mistura do fármaco com os polímeros seguida da adição de um solvente comum (Calori et al., 2020).

O fluconazol é um antifúngico da classe dos triazólico, amplamente utilizado no tratamento de infecções por *Candida albicans* nas formas orais, orofaríngeas e vaginais (Pahwa; Ahuja, 2022). Esse microrganismo é responsável pela alta recorrência de infecções vaginais, e atua como patógeno oportunista, principalmente em indivíduos imunocomprometidos (Mohankumar, et al., 2022). O tratamento oral é pouco efetivo devido a metabolização hepática e sua toxicidade sistêmica, e as formulações tópicas atuais apresentam aplicações desconfortáveis que diminui a adesão das pacientes (Kolawole; Okeke, 2025). Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo extrair e caracterizar o polissacarídeo do resíduo fibroso do pseudofruto de *A. occidentale*, bem como produzir e caracterizar um *scaffold* incorporado com fluconazol a partir desse biomaterial para aplicação na mucosa vaginal.

MATERIAIS E MÉTODOS

Material vegetal e reagentes

O resíduo fibroso do pseudofruto de *Anacardium occidentale* foi gentilmente cedido pela empresa Fitofit (Teresina, PI) (SISGEN: ABD61DA). Os principais reagentes utilizados incluem: etanol PA 94% (Dinâmica), radical livre 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH•, Sigma-Aldrich), ácido ascórbico (Vetec), Trolox® (Sigma-Aldrich), goma xantana (Dinâmica), fluconazol (Aché), sal marinho sintético Ocean Tech®, vitaminas B1 e B12 (Sigma-Aldrich), meio de cultura (Sigma-Aldrich), álcool absoluto (Dinâmica), metanol (Dinâmica). Os outros produtos químicos usados neste trabalho foram de grau reagente.

Extração do polissacarídeo

Para investigar as condições ótimas de extração, foi realizado um planejamento fatorial 2^3 para testar as variáveis: tempo, temperatura e concentração do resíduo fibroso, conforme variáveis apresentadas na Tabela 1. O experimento escolhido como padrão foi o que apresentou o melhor rendimento, sendo usado 5% (p/v) do material vegetal dissolvido em água destilada e aquecida até atingir a temperatura de 90 °C.

Em seguida, foi submetido à agitação de 800 rpm por 10h. Após esta etapa, o material foi filtrado e o líquido resultante foi submetido à precipitação com álcool etílico PA 94% na proporção de 1:4 (extrato etanol). O líquido precipitado foi então centrifugado, e o sobrenadante recolhido passou por uma etapa de secagem em estufa a 40 °C por aproximadamente 24 h (Sabino *et al*., 2020), em seguida o tamanho das partículas foi uniformizado com o auxílio do grau e pistilo, e o polissacarídeo foi armazenado em recipiente com tampa e mantido à temperatura ambiente.

Tabela 1 - Valores mínimo e máximo das variáveis.

Variáveis	Mínimo	Máximo
Tempo (h)	2	10
Temperatura (°C)	50	90
razão (%)	1	5

Fonte: Elaborado pelo autor.

O rendimento foi calculado seguindo a equação:

$$Rendimento\ \% = \frac{PS}{PR}\ X\ 100 \qquad (1)$$

Onde: PS = Peso do polissacarídeo seco; PR = Peso do resíduo fibroso usado na extração do polissacarídeo.

Caracterização físico-química

Análise organoléptica (aparência, cor e odor)

A caracterização física inicial do polissacarídeo foi realizada por análise organoléptica, conforme descrito na Farmacopeia Brasileira (Brasil, 2019). A amostra seca foi observada sob luz difusa natural, sobre superfície branca, e avaliada quanto à cor, odor e morfologia visual. A coloração foi descrita com base em escala visual padronizada; a forma física foi avaliada quanto à homogeneidade, presença de agregados ou fibras visíveis, e o odor, por inspeção direta.

Determinação de umidade

A determinação do teor de umidade foi realizada em balança determinadora de umidade da marca Marte®, modelo ID200. As amostras foram pesadas individualmente e submetidas à secagem a uma temperatura de 105 °C, em triplicata, por um período de 30 minutos cada. Para cada análise, foi utilizada uma amostra de 1 g do polissacarídeo. O teor de umidade foi calculado pela diferença entre as massas inicial e final das amostras. Para a determinação do teor da umidade (M%) presente na amostra foi utilizada a seguinte fórmula:

$$M\ \% = \frac{P1-P2}{P1}\ X\ 100 \qquad (2)$$

Onde:

M% = Teor de umidade; P1 = Massa inicial; P2 = Massa final.

Determinação de pH

Para determinação do pH, foi realizada conforme descrito na Farmacopeia Brasileira, 7ª edição (Brasil, 2019), utilizando pHmetro devidamente calibrado com soluções-tampão padrão (pH 4,0 e 7,0) onde foi preparada uma solução aquosa do polissacarídeo a 1% (p/v), sob agitação magnética por 30 minutos à temperatura ambiente.

Determinação da solubilidade

A avaliação da solubilidade foi realizada conforme os critérios estabelecidos pela Farmacopeia Brasileira, 7ª edição (Brasil, 2019), utilizando água, etanol e metanol como solvente. Onde 1 g de polissacarídeo foi submetido à adição gradual do solvente sob agitação,

até completa dissolução. O volume necessário foi registrado e a substância classificada como "solúvel", "pouco solúvel" ou outro termo correspondente, conforme termos descritivos de solubilidade apresentados pela farmacopeia.

Determinação do índice de intumescência

Foi utilizado o método descrito na Farmacopeia Brasileira (Brasil, 2019). Foi pesado 1 g da amostra seca e transferida para uma proveta de 25ml, em triplicata. Em seguida foi adicionado 25 ml de água, a amostra foi agitada a cada 10 minutos, por uma hora. A mistura ficou em repouso por três horas, à temperatura ambiente. Foi medido o volume, em mililitros, ocupado pelo material vegetal e subtraído do volume inicial.

$$Inchaço\ g/ml = \frac{Vf - Vo}{m} \qquad (3)$$

Onde:

Vf = volume final ocupado pelo material após hidratação (em mL); Vo = volume inicial da água adicionada (em mL); m = massa da amostra seca (em g).

Caracterização do polissacarídeo

A caracterização do polissacarídeo foi realizada por meio de espectroscopia na região do infravermelho (FTIR), microscopia eletrônica de varredura (MEV), fluorescência de raios X (FRX) e análise termogravimétrica (TG).

Espectroscopia na região de infravermelho

A FTIR foi realizada em um espectrômetro modelo PerkinElmer Spectrum 100, operando na faixa de 4000 a 400 cm^{-1}, com resolução de 1 cm^{-1} e 16 varreduras acumuladas por espectro. As amostras foram preparadas na forma de pastilhas com KBr seco (1:100mg) e comprimidos sob pressão hidráulica de aproximadamente 10 toneladas.

Microscopia eletrônica de varredura

A morfologia do polissacarídeo foi analisada por MEV, utilizando um equipamento FEI Quanta FEG 250 com canhão de emissão de campo (FEG). As amostras, previamente secas, foram fixadas em stubs de alumínio com fita adesiva de carbono. As micrografias foram obtidas em diferentes ampliações, sob tensão de aceleração variando entre 1 e 30 kV pressão de câmara inferior a 10^{-4} Pa. As imagens foram tratadas usando ImageJ® (National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA) para melhor ajuste de realce e contraste.

Fluorescência de raios X

A composição elementar do polissacarídeo foi determinada por EDXRF, utilizando o equipamento Epsilon3-XL (Malvern PANalytical), acoplado ao software analítico Omnian. O sistema utilizou tubo de raios X com ânodo de ródio (Rh), operando a 50 kV e 300 μA, com tempo de leitura de 10 minutos por amostra em atmosfera ambiente.

Análise termogravimétrica TGA

A análise de TG foi realizada em um equipamento DTG-60 (Shimadzu). Aproximadamente 3,3 mg de amostra foi colocado em cadinho de platina e submetido a aquecimento de 24 a 600°C, sob atmosfera inerte de nitrogênio com fluxo de 100 $mL \cdot min^{-1}$. Os dados foram processados para obtenção das curvas de perda de massa (TG) e derivada da perda de massa (DTG).

Atividade biológica

A caracterização biológica do polissacarídeo foi realizada por meio de teste de atividade antioxidante, antimicrobiana e toxicidade em modelo de *Artemia salina*.

Atividade antioxidante

Para realização das análises, adicionou-se 1,5 mL da solução etanólica do radical DPPH• (6x10–5M) e uma alíquota de 0,5 mL das amostras contendo concentrações seriadas. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro UV-Vis (517 nm), após 30 minutos do início da reação. As determinações foram feitas em triplicata (n=3) acompanhada de um controle negativo (sem antioxidante) e dois controles positivos (padrões: ácido ascórbico e Trolox®, natural e sintético respectivamente). A queda na leitura da densidade ótica das amostras foi correlacionada com o controle, estabelecendo-se a porcentagem de descoloração da amostra (inibição do radical DPPH•) conforme fórmula a seguir (Brand-Williams *et al*., 1995; Vieira *et al*., 2011).

$$\%\ de\ inibição\ do\ radical\ DPPH = \frac{(Abscont - Absamos)}{Abscont}\ X\ 100 \qquad (4)$$

Onde, Abscont – absorbância controle, Absamos – absorbância amostra. Adicionalmente ao percentual de inibição, foi também calculada a concentração eficaz para inibir 50% do radical DPPH• (CE50).

Atividade antibacteriana

As atividades antimicrobianas do polissacarídeo de *A. occidentale* produzido foram avaliadas contra as bactérias Gram-negativas *Escherichia coli* (ATCC 10231) pelo método de diluição em caldo. Diferentes concentrações do polissacarídeo *A. occidentale* (100, 50, 25, 10 e 5 µg/mL) foram misturadas à cultura microbiana a 1×10^6 UFC/mL e incubadas a 37 °C por até 48 h. O experimento acima foi realizado em triplicata (SAHM, 1995).

Toxicidade *in vivo*

Foi realizado o teste de citotoxicidade em *Artemia salina* Leach, inicialmente preparou-se água marinha artificial, utilizando sal marinho sintético comercial, marca Ocean Tech®, enriquecido com vitaminas B1 e B12 e livre de fosfatos e nitratos, diluindo 100g/1L de solução conforme recomendação do fabricante. A solução preparada foi utilizada como meio para eclosão dos cistos latentes desidratados. Os cistos de *Artemia salina* foram eclodidos e após 48 horas, os náuplios foram coletados para os bioensaios.

O polissacarídeo foi diluído em concentrações seriadas de 250, 500, 1000 e 2000 µg/mL e testados em quintuplicata, sendo adicionados 10 náuplios em cada tubo. Após 24h e 48h de exposição, realizou-se a contagem do número de náuplios sobreviventes. Foram observados próximos a uma fonte luminosa e considerados vivos todos aqueles que apresentassem qualquer tipo de movimento quando submetidos a uma leve agitação do tubo. Os resultados foram expressos CL_{50} obtido pelo método estatístico de regressão não linear seguido Erro Padrão da Média e intervalo com 95% de confiança (GraphPad Prism 6.0®) (MEYER, 1982; McLAUGHLIN, 1991)

Produção *scaffold*

A produção dos *scaffolds* foi realizada com base em metodologia adaptada de Albuquerque et al. (2024) e Rhamon et al. (2021). Inicialmente, preparou-se uma solução aquosa contendo o polissacarídeo de *A. occidentale* a 1% (p/v), ao qual foram adicionadas diferentes proporções de um segundo polímero, resultando em uma blenda polimérica nas concentrações de 0,5%, 1% e 2% (p/v) (Tabela 2). A mistura foi submetida à homogeneização mecânica sob agitação constante por aproximadamente 10 minutos, garantindo completa dispersão dos componentes.

Para a formulação dos *scaffolds* incorporados com fármaco, seguiu-se o mesmo procedimento de preparação da blenda polimérica, adicionando-se posteriormente o antifúngico fluconazol a 10% (v/v), conforme descrito por Pahwa e Ahuja (2022). A adição foi realizada de forma gradual, com agitação contínua, assegurando distribuição uniforme do fármaco na matriz polimérica. Ao final do processo de mistura, obteve-se um hidrogel que foi cuidadosamente transferido para placas de 96 poços, sendo dispensado volume fixo de 400 µL em cada cavidade. O material foi mantido em temperatura ambiente por 24 horas para promover a completa gelificação. Em seguida, realizou-se o congelamento em nitrogênio líquido, etapa fundamental para a preservação da estrutura tridimensional. Os *scaffolds* foram obtidos por meio de liofilização (modelo L101, marca Liotop), resultando em matrizes porosas. Adicionalmente, foi produzido um *scaffold* controle sem polissacarídeo de *A. occidentale*, a fim de avaliar isoladamente o comportamento do biopolímero sem a presença da blenda polimérica ou do fármaco.

Tabela 2 - Desenho experimental da produção do *scaffold*.

Código	Composição	Polissacarídeo do resíduo fibroso de *A. occidentale* (%)	Goma xantana (%)	Antifúngico
SCF-C1	Controle	X	0,5%	X
SCF-C2	Controle	X	1%	X
SCF-C3	Controle	X	2%	X
SCF-P1	Teste	1%	0,5	X
SCF-P2	Teste	1%	1%	X
SCF-P3	Teste	1%	2%	X
SCF-F1	Teste antifúngico	1%	0,5%	10%
SCF-F2	Teste antifúngico	1%	1%	10%
SCF-F3	Teste antifúngico	1%	2%	10%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Caracterização física

As características físicas dos *scaffolds* sem fluconazol foram analisadas por meio da inspeção visual e de medições. Os parâmetros analisados incluem tamanho, forma, cor e odor. As dimensões do *scaffold* foram analisadas em três pontos distintos de cada unidade utilizando um paquímetro, as medidas de diâmetro e espessura foram expressas em milímetros, e os resultados foram apresentados como média ± desvio padrão, obtidos a partir de três unidades.

Microtomografia computadorizada

A caracterização tridimensional da estrutura interna dos *scaffolds* foi realizada por meio de microtomografia computadorizada (micro-CT), utilizando o equipamento SkyScan 1272 (Bruker, Bélgica). As amostras foram analisadas sem o uso de filtro, sob tensão de 50 kV e corrente de 200 μA, com resolução de pixel de 5,7 μm. Foram analisadas seis amostras de *scaffold*, distribuídas em três grupos (SCFP1, SCFP2 e SCFP3), com duas réplicas por grupo. As imagens adquiridas apresentavam dimensão de 500 × 500 pixels (largura × altura), e um total de 200 cortes contidos dentro do Volume de Interesse (VOI) foi considerado para a quantificação dos parâmetros estruturais. A reconstrução das imagens e a análise de porosidade foram realizadas no software CTAn (Bruker), sendo calculada a porosidade média de cada amostra.

Microscopia eletrônica de varredura

Os *scaffolds* foram analisados por MEV utilizando um equipamento da marca Tescan modelo VEGA 3. As amostras foram depositadas na superfície de um suporte de alumínio com fita dupla face de carbono e submetidas à metalização com uma fina camada de ouro. As micrografias foram obtidas em diferentes ampliações, sob tensão de aceleração de 10 kV, pressão de câmera de alto vácuo (HiVac) e distância de trabalho variando entre 8,69 e 8,83 mm. As imagens foram tratadas usando ImageJ® (National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA) para melhor ajuste de realce e contraste.

Estudo de mucoadesividade *ex-vivo*

Para esta avaliação, utilizou-se a mucosa vaginal suína como modelo, todos os procedimentos foram norteados pelos princípios éticos estabelecidos pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), seguindo a legislação nacional vigente (Resolução n° 55, de 5 de outubro de 2022). A vagina foi obtida em um matadouro local, sendo removida de um animal abatido. Após a extração, o tecido foi transportado em gelo e lavado com solução tampão fosfato com pH ajustado para 4,5 (Muller *et al*., 2022).

O experimento foi conduzido em triplicata utilizando um analisador de textura TA-XT plus (TA instruments®, Reino Unido), equipado com carga de 5kg. As amostras foram fixadas em uma sonda analítica (p/10), com área de 0,785 cm2, usando fita dupla face. O tecido vaginal foi fixado na plataforma inferior do equipamento e, antes de cada teste, foi umedecida com 50 μL de solução vaginal simulada aquecida a 37 °C.

Os testes foram realizados com velocidade de 0,5 mm/s para pré-teste e teste, e 5 mm/s para pós teste, aplicando-se uma força de 0,2 N sobre a mucosa vaginal por 30 segundos. A força necessária para separar a fita contendo a amostra da superfície do tecido sobre a área preenchida pela amostra foi medida (Equação 5) que representa a força de deslocamento ou força mucoadesiva (N/cm^2).

$$PDF\ (N/m2) = \frac{F0}{A0} \qquad (4)$$

Onde: F0 = força necessária para destacar a amostra da superfície da mucosa; A0 = área preenchida pelo polímero.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Extração do polissacarídeo

O rendimento do polissacarídeo obtido foi de 2,54 ± 1,54%, valor inferior ao relatado por Sabino *et al*. (2020), que alcançaram 7% utilizando extração em água quente sob condições semelhantes de tempo, temperatura e solvente. Entretanto, o protocolo descrito por esses autores inclui etapas adicionais, como a remoção da fração lipídica e uma segunda extração prolongada da fração hidrossolúvel (16 h a 50 °C), o que contribui significativamente para o aumento do rendimento. A extração em água quente seguida de precipitação com etanol constitui a metodologia mais amplamente empregada para a obtenção de polissacarídeos, por ser relativamente simples e não demandar equipamentos sofisticados. Apesar da necessidade de grande volume de etanol, este pode ser recuperado por destilação, reduzindo o impacto do consumo de solvente (Li *et al*., 2023).

Entre as principais limitações desse método destacam-se o baixo rendimento — uma vez que a água solubiliza preferencialmente polissacarídeos superficiais — e o maior tempo demandado para o processo de extração (Wang *et al*., 2023). Ainda assim, a adoção dessa abordagem foi estratégica, pois simula uma etapa já realizada pela empresa parceira responsável pelo fornecimento do resíduo, utilizada originalmente apenas para a sua lavagem. A escolha metodológica neste estudo foi, portanto, deliberada, visando reproduzir o pré-tratamento de lavagem do resíduo empregado pela indústria, etapa que promove a separação da fração fibrosa destinada a aplicações subsequentes. Embora não se configure, estritamente, como um processo de extração de polissacarídeos, tal procedimento apresenta similaridade com a extração em água quente, evidenciando seu potencial de aplicação em larga escala, de forma integrada aos processos industriais já existentes.

Caracterização físico-química

A amostra apresentou aspecto granular homogêneo, coloração amarelada e ausência de odor. O teor de umidade determinado foi de 6,57 ± 0,05%, valor considerado baixo e favorável à estabilidade de polissacarídeos, uma vez que contribui para sua conservação (Kong et al., 2015). O pH da solução aquosa do polissacarídeo foi de 6,94 ± 0,34, indicando caráter levemente ácido a praticamente neutro. Esse parâmetro é relevante, pois exerce influência direta sobre propriedades físico-químicas, como a viscosidade polimérica (Nsengiyumva; Alexandridis, 2022).

De acordo com a Farmacopeia Brasileira, o polissacarídeo apresentou solubilidade em água e baixa solubilidade em solventes orgânicos, como etanol e metanol. Tal comportamento é compatível com o método de extração empregado, que se baseia na solubilidade aquosa de polissacarídeos. A elevada afinidade pela água pode ser atribuída à abundância de grupos hidroxila na estrutura, os quais favorecem interações hidrofílicas (Guo *et al*., 2017; Meng *et al*., 2023).

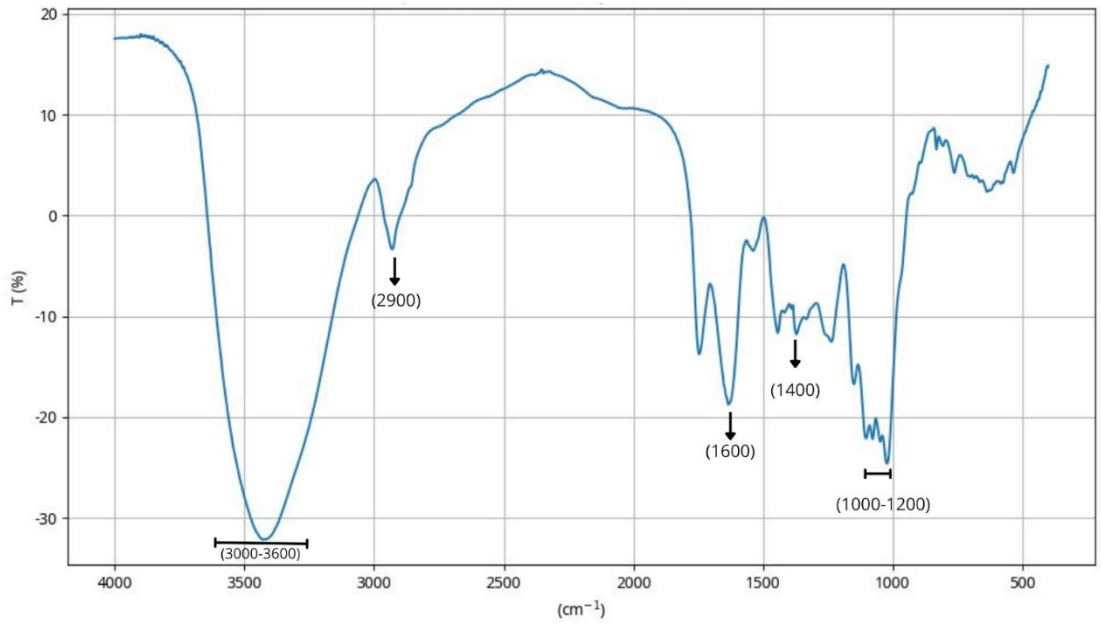
O índice de intumescimento, que expressa a capacidade do polissacarídeo em absorver água e expandir seu volume, foi de 5 mL/g. Esse valor indica que o material é capaz de absorver aproximadamente cinco vezes o seu peso seco em água, caracterizando uma capacidade de retenção moderada. Tal propriedade também é favorecida pela presença de grupos hidroxila na estrutura polimérica (Llanes *et al*., 2020).

Espectroscopia na região de infravermelho

A caracterização estrutural do polissacarídeo foi realizada por espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) (Figura 1). O espectro revelou uma banda larga na região de 3000–3600 cm^{-1}, atribuída ao estiramento das ligações O–H, indicando a presença de grupos hidroxila na amostra. Essa característica é típica de biopolímeros higroscópicos e reforça a elevada afinidade do polissacarídeo pela água, em concordância com o comportamento observado nos ensaios de solubilidade e intumescência (Basu *et al*., 2015).

Outra banda, localizada em aproximadamente 2900 cm^{-1}, corresponde ao estiramento das ligações C–H, confirmando a presença de cadeias orgânicas na estrutura. Já na região de 1600–1650 cm^{-1}, foi observada uma banda atribuída à deformação (flexão) das moléculas de água adsorvidas (H–O–H). Essa absorção é frequentemente relatada em espectros de pectina de maçã e de pectinas extraídas de cascas de frutas cítricas, constituindo, portanto, uma banda recorrente em polissacarídeos, incluindo pectinas (Liu *et al*., 2021).

Figura 1 - Espectro de FTIR do polissacarídeo do resíduo de pseudofruto de *Anacardium occidentale*. Espectro FTIR (transmitância × número de onda) da amostra estudada. Destacam-se bandas em 1000–1200 cm^{-1} (vibrações C–O), 1400 cm^{-1} (deformação C–H), 1600 cm^{-1} (água adsorvida), 2900 cm^{-1} (estiramento C–H) e 3000–3600 cm^{-1} (estiramento O–H)



Fonte: Arquivo pessoal.

Na região de 1400–1450 cm^{-1}, foram identificadas bandas atribuídas às vibrações de deformação de grupos CH_2 ou carboxilato ($–COO^–$), achados semelhantes aos relatados para gomas de exsudato vegetal, que apresentam banda característica em 1424 cm^{-1} (Thombare *et al*., 2023). A faixa de 1000–1200 cm^{-1}, por sua vez, é representativa das vibrações das ligações C–O, C–C e das ligações glicosídicas, além de refletir movimentos específicos dos anéis piranose e furanose, confirmando a natureza polissacarídica da amostra (Kacurakova *et al*., 2000). As bandas observadas abaixo de 700 cm^{-1} estão associadas às vibrações do esqueleto molecular e a outras deformações estruturais de menor intensidade, complementando a caracterização química (Szymańska-Chargot *et al*., 2024).

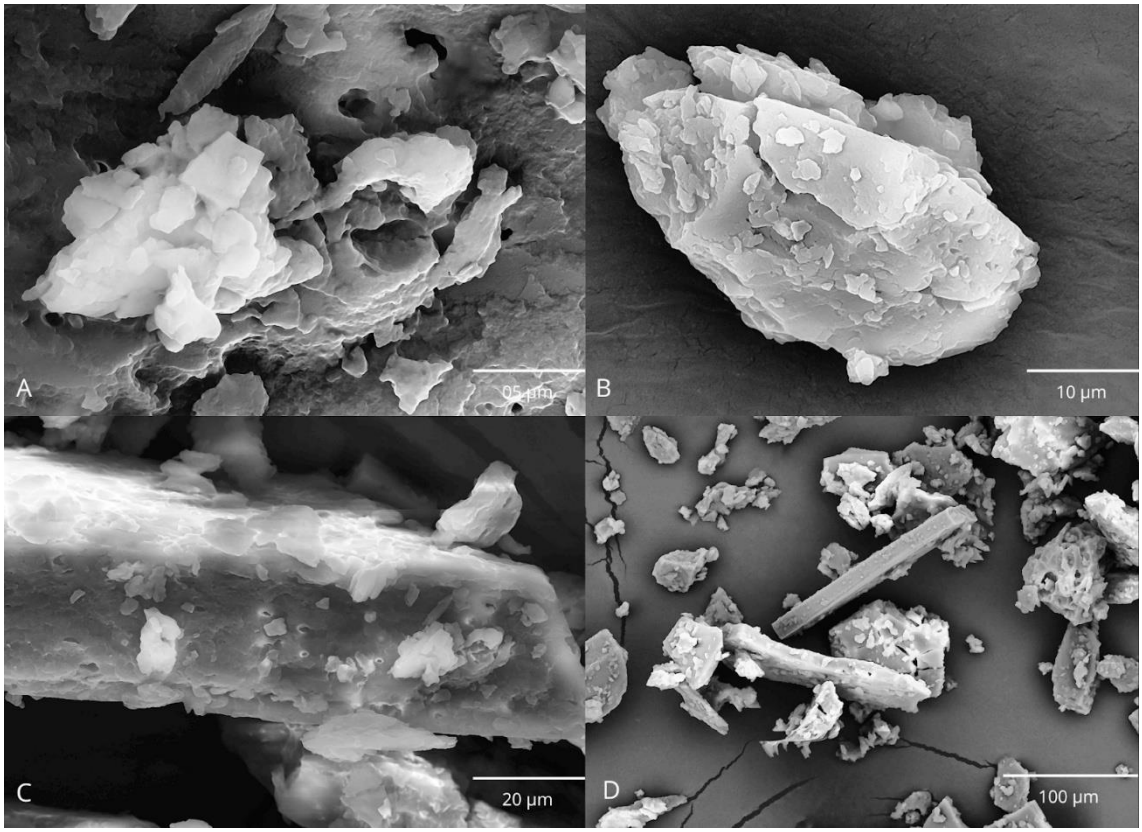
Os resultados obtidos estão em consonância com os descritos por Sabino et al. (2020), que relataram um estiramento O–H na região de 3000–3500 cm^{-1}, bem como o estiramento C–H dos grupos $–CH_2–$ em 2930 cm^{-1}. De maneira semelhante, a pectina extraída do resíduo de *A. occidentale* apresentou estiramento de C=O em 1742 cm^{-1} (De Menezes *et al*., 2024), enquanto a goma proveniente da mesma espécie vegetal demonstrou bandas de estiramento C–O em 1070 e 1151 cm^{-1}, características de ligações fundamentais na composição de polissacarídeos (Hasnain *et al*., 2018).

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A micrografia obtida revela a presença de fragmentos com formatos predominantemente lamelares (em “placas”) e alguns aglomerados mais irregulares, como mostra a Figura 2-D. A

topografia das partículas caracteriza-se como rugosa, com superfícies irregulares e com fissuras (Figura 2-A).

Figura 2 - MEV evidenciando a morfologia das partículas do polissacarídeo de *A. occidentale* em diferentes ampliações. A) 20000 vezes, B) 10000 vezes, C) 5000 vezes, D) 1000 vezes.



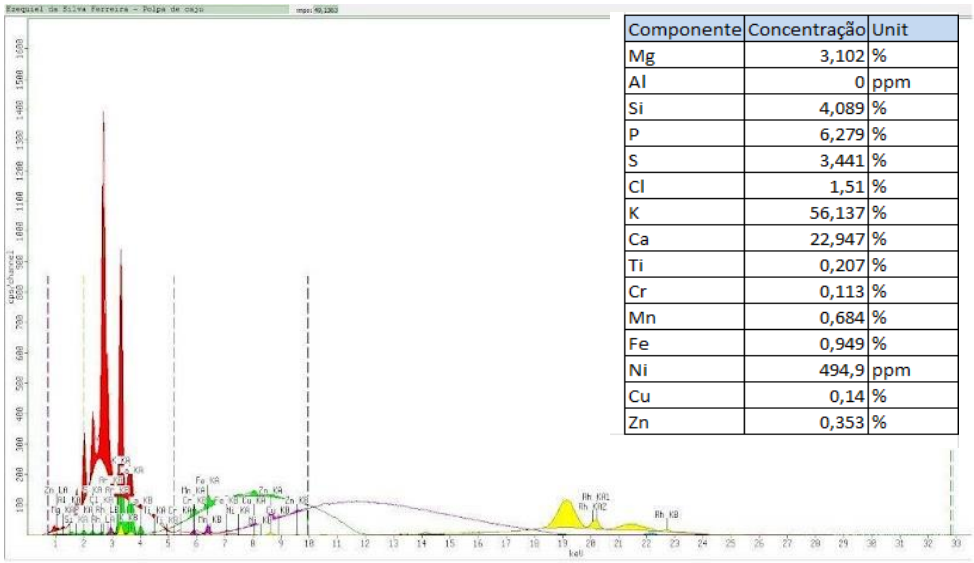
Fonte: Arquivo pessoal.

Em alguns pontos, vê-se camadas sobrepostas, sugerindo uma possível estrutura laminar ou estratificada (Figura 2-B e 2-C). A presença de fraturas ou bordas mais finas pode ter relação com o processo de secagem ou moagem, que frequentemente gera fissuras e fragmentos. Sabino *et al*. (2020), ao analisarem o polissacarídeo extraído do resíduo de *Anacardium occidentale*, relataram uma morfologia compacta e levemente enrugada, sem a presença de poros ou bolhas, indicando que a temperatura empregada na extração preservou as estruturas superficiais. Por sua vez, Albuquerque *et al*. (2024) descreveram a lignina extraída do bagaço de *A. occidentale* como apresentando uma morfologia heteropolimérica, amorfa e tridimensional. Essa análise é uma ferramenta importante para caracterização da morfologia de polissacarídeos, uma vez que permite visualizar as estruturas em escala micrométrica (Fischer *et al*., 2024).

Fluorescência de raios X (FRX)

A análise de fluorescência de raios X (FRX) da Figura 3, revelou que os elementos predominantes na amostra de polissacarídeo são potássio (K), cálcio (Ca) e fósforo (P), com menores concentrações de silício (Si), enxofre (S) e magnésio (Mg). Além disso, níquel (Ni), cromo (Cr) e manganês (Mn) foram detectados como elementos-traço. Resultados semelhantes foram observados por Mathavan *et al*. (2024) em sua análise de microfluorescência de raios X, utilizando a goma de *A. occidentale*, que apresentou concentrações mais elevadas de cálcio, potássio, magnésio e manganês, essa semelhança se deve a mesma origem vegetal. Esses elementos estão frequentemente associados a constituintes minerais naturais da biomassa vegetal ou à presença residual de sais provenientes do solo (Dimkpa; Bindraban, 2016).

Figura 3 - Fluorescência de raios X (FRX). A) Espectro obtido por FRX da amostra de polissacarídeo; B) Perfil de composição química elementar, indicando os principais elementos detectados.



Componente	Concentração	Unit
Mg	3,102	%
Al	0	ppm
Si	4,089	%
P	6,279	%
S	3,441	%
Cl	1,51	%
K	56,137	%
Ca	22,947	%
Ti	0,207	%
Cr	0,113	%
Mn	0,684	%
Fe	0,949	%
Ni	494,9	ppm
Cu	0,14	%
Zn	0,353	%

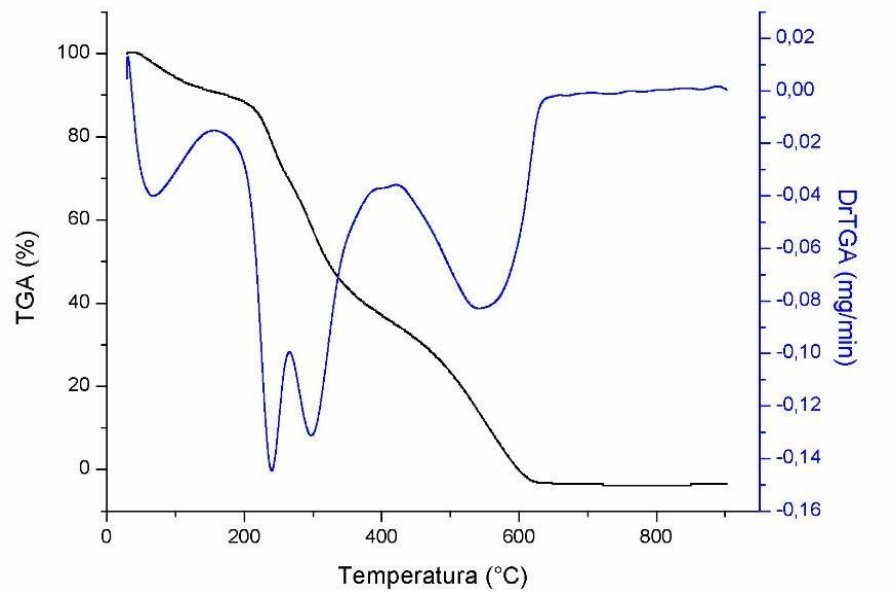
Fonte: Arquivo pessoal.

Análise Termogravimétrica

O perfil termogravimétrico, como mostra a Figura 4, revelou que a primeira etapa de degradação ocorreu até aproximadamente 150 °C. Foi observada uma perda de massa atribuída à evaporação de umidade adsorvida e de compostos voláteis presentes na superfície do material. Em seguida, na faixa de 200–350 °C, ocorreu a decomposição inicial das cadeias

polissacarídicas, um processo característico de degradação térmica de biopolímeros, no qual há a ruptura de ligações glicosídicas e a formação de subprodutos voláteis.

Figura 4 - Curva de perda de massa do polissacarídeo de *Anacardium occidentale* obtida por TG.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O perfil termogravimétrico do polissacarídeo (Figura 4) revelou uma primeira etapa de degradação térmica até aproximadamente 150 °C, associada à perda de massa decorrente da evaporação de umidade adsorvida e de compostos voláteis superficiais. Na faixa de 200–350 °C, observou-se a decomposição inicial das cadeias polissacarídicas, evento típico da degradação térmica de biopolímeros, caracterizado pela ruptura de ligações glicosídicas e pela formação de subprodutos voláteis.

Entre 350 e 550 °C, foi detectada a continuidade do processo de degradação, provavelmente relacionada à decomposição de fragmentos poliméricos mais recalcitrantes e de estruturas carbonáceas residuais. Acima de 600 °C, verificou-se a formação de um resíduo térmico expressivo, consistente com a elevada fração mineral do material. Tal resultado está em concordância com a análise de FRX, que evidenciou a presença de elementos como cálcio (Ca), potássio (K) e fósforo (P), geralmente associados à fração inorgânica da biomassa e ao conteúdo de cinzas.

Perfis semelhantes foram relatados por Sabino *et al*. (2020), que observaram faixas de degradação próximas às descritas neste estudo. Mathavan e Bin Hassan (2024) também reportaram comportamento análogo para a goma de *A. occidentale*, com início da degradação

térmica em 195 °C. De acordo com esses autores, a faixa de 200 °C está relacionada à degradação de hemiceluloses, enquanto a decomposição da celulose ocorre entre 300 e 380 °C.

Atividade antioxidante

O polissacarídeo de *A. occidentale* apresentou concentração eficaz (CE_{50}) 0,5688 ± 0,01mg/mL para inibir 50% dos radicais livres DPPH•, em comparação com os padrões ácido ascórbico (CE_{50} = 0,0227 ± 0,00 mg/mL) e Trolox® (CE_{50} = 0,0149 ± 0,00 mg/mL), mostrando que o polissacarídeo apresenta maior capacidade antioxidante que os padrões frente ao DPPH•. Esse polissacarídeo também foi testado quanto a sua atividade antioxidante total usando radical ABTS•+ por Sabino *et al*., (2020), onde a atividade antioxidante encontrada foi de 147 µM de Trolox/g um poder de sequestro de radicais ABTS•+ de 89% de em uma concentração de 0,05 mg/mL, reforçando o potencial de sequestro do polissacarídeo mesmo em concentrações baixas.

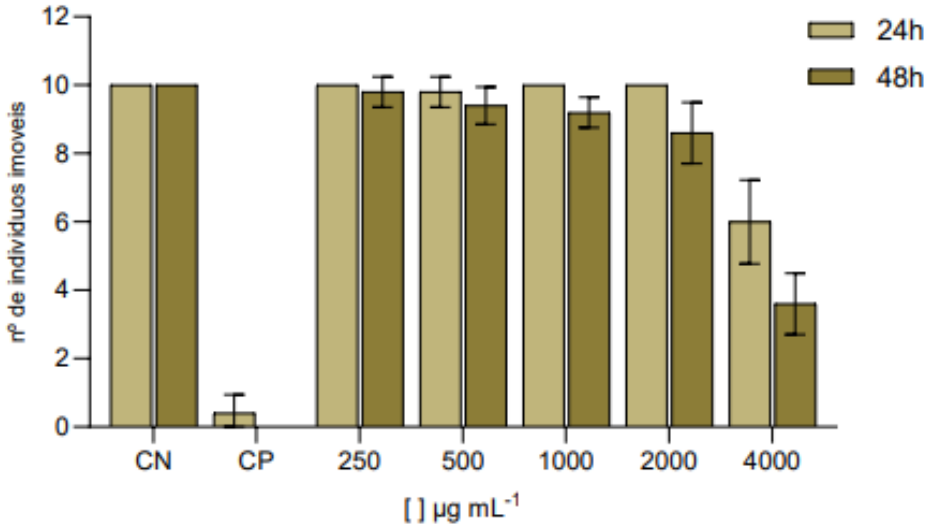
Atividade antibacteriana

O resultado do ensaio mostrou que nenhuma das concentrações testadas apresentou atividade frente a cepa padrão de *E. coli*, sendo a concentração inibitória mínima (CMI) para polissacarídeo maior que 100 µg/mL (0,01%). Ainda não há na literatura ensaio semelhante realizado com polissacarídeo em questão. Albuquerque *et al*. (2024) realizou ensaio de atividade antimicrobiana com a lignina do resíduo fibroso de *A. occidentale*, mostrando atividade dose dependente frente a essas cepas com inibição total de 3% (p/v) para lignina, alcançando 100% de atividade com a concentração de 10% (p/v) de lignina para *E. coli* e 5% para *S. aureus*. Outras partes da espécie *A. occidentale* como o extrato da testa da castanha possui atividade frente a cepas de S. aures (CMI 25mg/ml) (Nguyễn et al., 2024), já a goma do exsudato apresenta CIM DE 30 mg/ml frente a E. coli (Campos et al., 2012). Indicando a necessidade de novos testes para encontrar a concentração inibitória mínima para o polissacarídeo extraído.

Totoxicidade *in vitro*

A toxicidade *in vitro* do polissacarídeo foi realizada usando *nauplius* de artemia salina, revelando um perfil de baixa toxicidade nas concentrações de 250 a 2000 µg mL^{-1}, com valores próximos ao controle negativo como mostra a Figura 5, com percentual de mortalidade variando de 0% a 15%.

Figura 5 - Mortalidade após 24/48h de exposição. CP – Controle positivo ($K_2Cr_2O_7$, 10 µg mL-1), CN – controle negativo, somente água marinha artificial.

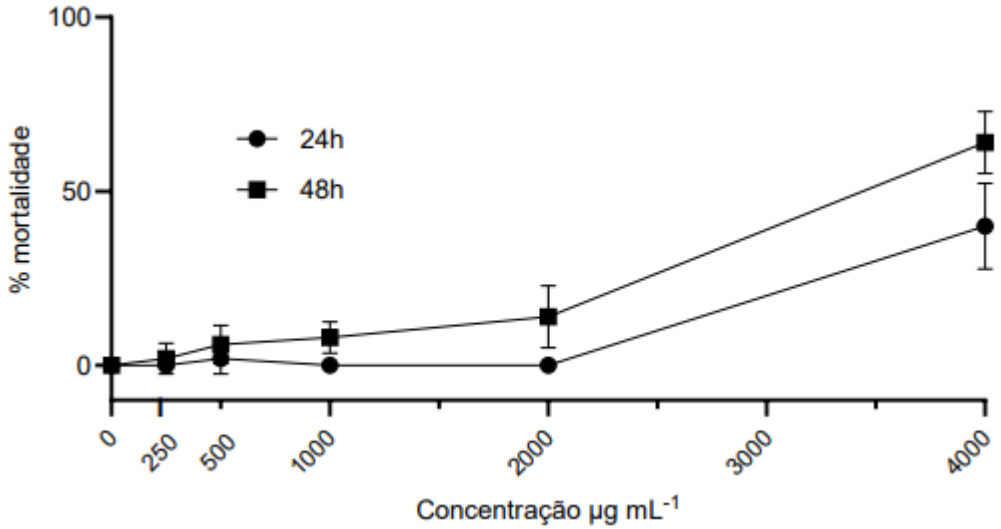


Fonte: Elaborado pelo autor.

Indicando que em concentrações moderadas os polissacarídeos não apresentam efeito tóxico podendo ser usado com segurança. No entanto, na concentração de 4000 µg mL^{-1}, observou-se redução significativa do número de indivíduos indicando aumento da mortalidade atingindo cerca de 40% após 24 horas e ultrapassando 60% após 48 horas de exposição (Figura 6), com diferença significativa em relação às concentrações inferiores.

O resultado do ensaio mostrou que a concentração letal média (CL_{50}) após 24 horas de exposição foi de 11,283 µg/mL (intervalo de confiança de 95%: 7.834 – 17.983 µg/mL) e após 48 horas foi de de 4,911 µg/mL (IC 95%: 3.624 – 6.895 µg/mL), deste modo considera-se que o polissacarídeo analisado apresenta baixa toxicidade, conforme escala proposta por Clarkson, na qual substâncias com CL_{50} igual ou superior a 1000µg/mL são consideradas fracamente tóxicas (Hamidi; Jovanova; Panovska, 2014).

Figura 6 - Mortalidade após 24/48h de exposição.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O polissacarídeo do resíduo de *A. occidentale* apresentou maior toxicidade aparente quando comparado ao polissacarídeo sulfatado de *Ulva*, cujo a CL_{50} foi de 15.815,85 ppm após 24 horas de exposição, já as taxas de mortalidade variaram de 9,33% (625 ppm) a 41,33% (5000 ppm), evidenciando padrão dose-dependente (Alves et al., 2013). De modo semelhante, o aumento da toxicidade nas concentrações mais elevadas do polissacarídeo do resíduo de *A. occidentale*, principalmente nas concentrações mais altas, o que pode estar relacionada a efeitos físicos proporcionados pela alta densidade coloidal da suspensão, uma vez que altas concentrações o polímero em solução pode aumentar sua viscosidade dificultando a difusão de oxigênio, provocando sufocamento dos náuplios (Salay *et al*., 2024). Não refletindo assim a toxicidade da amostra, e sim estresse ambiental.

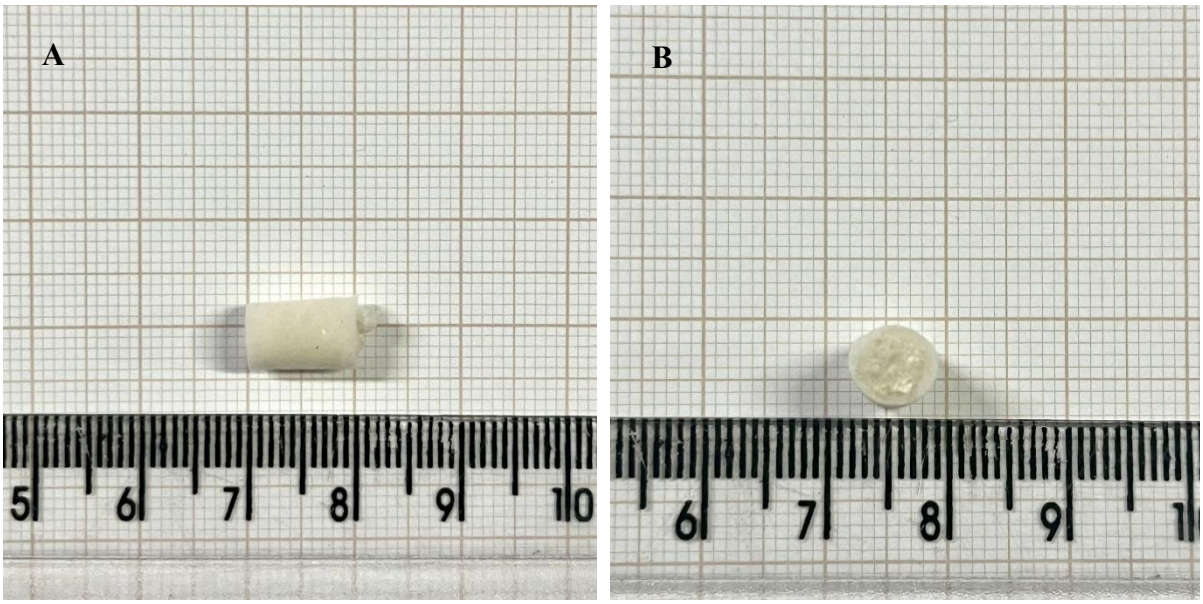
Produção *scaffold*

Os *scaffolds* foram obtidos a partir do polissacarídeo extraído do resíduo fibroso de *Anacardium occidentale*, utilizado como principal componente da formulação. A produção foi realizada por meio da técnica de liofilização, amplamente empregada para gerar matrizes porosas a partir de hidrogéis. Nesse processo, a água livre e ligada é solidificada, e os cristais de gelo atuam como agentes porogênicos; durante a expansão, o polímero rejeita o gelo, resultando em uma rede contínua de poros interconectados (Grenier et al., 2019).

A escolha desse polímero fundamenta-se em seu caráter sustentável e em seu potencial para aplicações biomédicas. A goma xantana foi incorporada como agente gelificante, possibilitando a formação do hidrogel, e três concentrações distintas foram avaliadas a fim de

investigar sua influência sobre as propriedades estruturais da formulação final. Os *scaffolds* obtidos apresentaram morfologia homogênea, coloração amarelada típica do polímero de *A. occidentale*, ausência de odor e formato cilíndrico, com diâmetro médio de 0,83 ± 0,06 mm (Figura 7). Do ponto de vista macroscópico, a formulação SCF-P3, com maior concentração de goma xantana, exibiu uma estrutura mais compacta e densa, ao passo que a formulação SCF-P1 apresentou aspecto mais leve e com maior porosidade (Figura 7).

Figura 7 - *Scaffold* desenvolvido a partir de polissacarídeo do resíduo fibroso de *A. occidentale* formulação SCF-P1. A) Vista lateral; B) Vista superior.

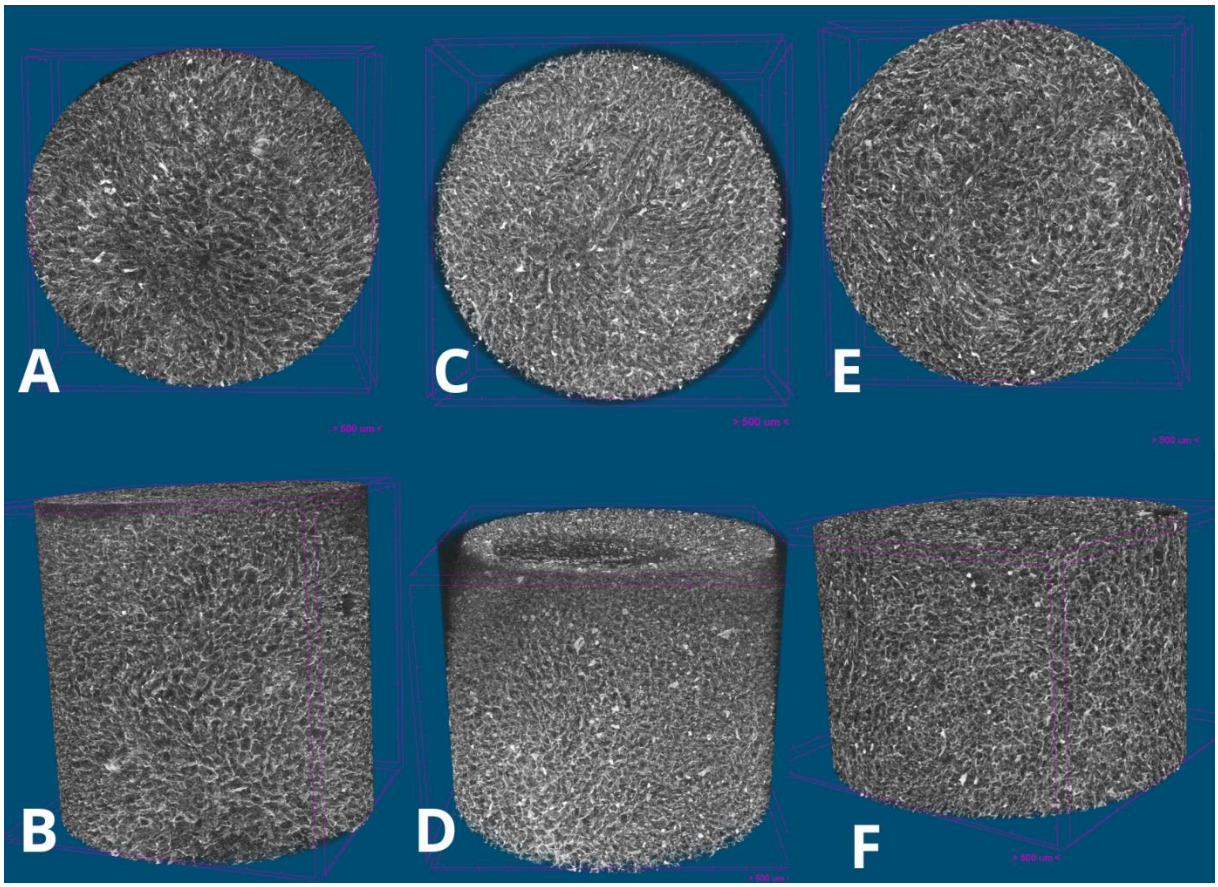


Fonte: Arquivo pessoal.

Microtomografia computadorizada

A microtomografia foi empregada para avaliar a arquitetura tridimensional do *scaffold* mostrou a estrutura interna dos *scaffolds* desenvolvidos. Os principais parâmetros morfométricos são apresentados na Figura 8.

Figura 8 - Imagens obtidas por microtomografia computadorizada. A e B) *Scaffold* 0,5% de goma xantana. C e D) *Scaffold* 1% de goma xantana. E e F) *Scaffold* 2% de goma xantana.



Fonte: Arquivo pessoal.

O *scaffold* SCF-P1 e SCF-P2 apresentaram maior porosidade com valores médios de 96,06 ± 5,28% e 97,59 ± 3,34%, respectivamente, resultado evidenciado pelas imagens A-D que mostram estrutura porosa e pouco densa, com grande quantidade de poros interligados. Enquanto o SCF-P3 apresentou a menor porosidade (88,31 ± 1,17%) e morfologia mais compacta, com poros menores e mais compactos e homogêneos, essas características morfológicas corroboram as observações visuais dos *scaffolds*. A alta porosidade é uma das características ideias de um *scaffold* por permitir a integração celular do biomaterial com o tecido de aplicação, além de permitir a difusão de nutrientes e a troca gasosa (Shang; Wang; Mao, 2024).

Scaffolds com porosidade superior a 90% podem ser usados na entrega de células e medicamentos, por facilitarem a entrada de fluidos acelerando a dissolução do princípio ativo incorporado na matriz polimérica, ideal para liberação imediata (Autissier *et al*., 2010; Calori *et al*., 2020; Rajesh; Ravichandra, 2015). Já *scaffolds* menos porosos como o SPC-P3 possuem maior fração de material sólido apresentando porosidade menor, favorecem a liberação

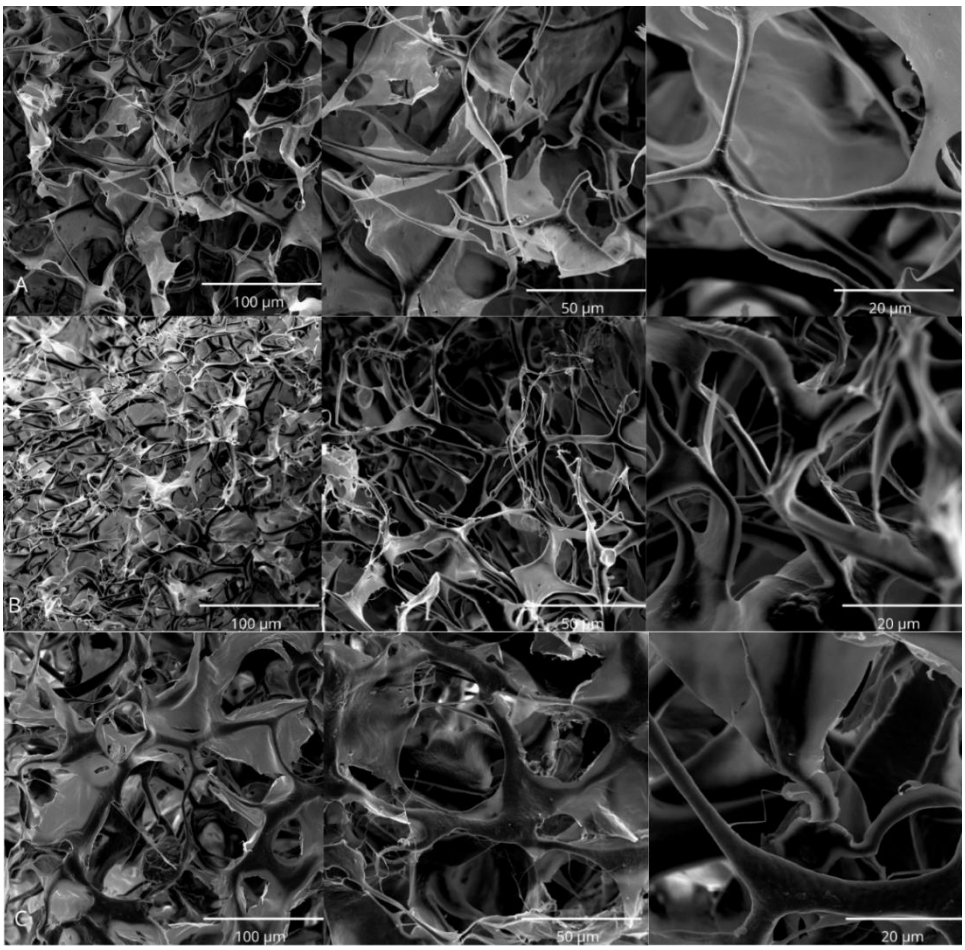
sustentada de fármacos por limitar a entrada rápida de fluidos, deste modo a porosidade influencia na taxa de liberação do fármaco incorporado (Visscher *et al*., 2018).

As formulações apresentaram diferentes percentuais de porosidade devido a concentração de goma xantana, deixando o hidrogel mais viscoso produzindo menos poros durante a liofilização, um comportamento semelhante foi observado por Samourides *et al*. (2020), onde os *scaffolds* produzidos apresentaram menor porosidade com aumento da concentração polimérica. A porosidade mínima requerida para *scaffolds* é de 80%, deste modo as três formulações atendem esse requisito (LIU *et al*., 2022).

Microscopia eletrônica de varredura

A análise morfológica por microscopia eletrônica de varredura revelou que o *scaffold* SCF-P1 apresenta uma estrutura tridimensional porosa com distribuição irregular (Figura 9-A), com poros interconectados.

Figura 9 - Morfologia das partículas do *Scaffold* de goma xantana. A) *Scaffold* 0,5% de goma xantana escala de 50 µm, 20 µm, 100 µm. D) *Scaffold* 1% de goma xantana 50 µm, 20 µm, 100 µm. E e F) *Scaffold* 2% de goma xantana 50 µm, 20 µm, 100 µm.



Fonte: Arquivo pessoal.

Essa característica é imprescindível para aplicações biomédicas, pois favorece a difusão de fluidos biológicos, ativos e a troca de gases (Mukasheva *et al*., 2024). Os poros apresentam tamanhos variados e paredes finas, com formação de lamelas e estruturas em rede, que pode estar relacionado a interação do polissacarídeo de *A. occidentale* e a goma xantana já que a presença de gomas naturais aumentam a viscosidade do hidrogel na produção de *scaffolds* gerando uma matriz mais estável após a liofilização (Del Agua *et al*., 2018), essas características influenciar na aplicação do *scaffold* resultando em um perfil de liberação sustentada mas com difusão heterogênea (Chua *et al*., 2024).

A formulação SCF-P2 apresentou uma porosidade semelhante, no entanto a rede tridimensional mais homogênea e interconectada com paredes finas e rugosas, essa morfologia favorece a permeação de fluidos, migração de células, indicando perfil para aplicação que exigem elevada permeabilidade e difusão, ideal para aplicação na liberação de ativos com liberação inicial mais acentuada, seguida de liberação mais sustentada (Asikainen *et al*., 2019). Já a formulação SCF-P3 apresenta estrutura irregular e robusta, com poros conectados, mas com redes lamelares mais espessas, algumas regiões apresentaram sobreposição de camadas, o que resulta em maior rugosidade e resistência mecânica, favorável na liberação sustentada mais e lenta e continua (Chua *et al*., 2024; Dang *et al*., 2019).

Mucoadesividade *ex-vivo*

Sistemas de liberação vaginal apresentam a mucoadesividade como um parâmetro crítico, uma vez que esse fator determina a capacidade da formulação de aderir à mucosa e, consequentemente, influencia o tempo de retenção no sítio de aplicação (Caramella *et al*., 2015). No presente estudo, a formulação SCF-P1 apresentou a maior força adesiva (0,0925 ± 0,0159 $N \cdot cm^{-2}$) (Tabela 1), possivelmente em função de sua composição polimérica. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que as forças mucoadesivas dependem das interações químicas entre o polímero e a mucosa, especialmente ligações de hidrogênio e interações fracas de van der Waals (Pérez-González et al., 2019).

A elevada porosidade do *scaffold* também pode ter contribuído para a maior adesividade, favorecendo o contato íntimo entre o biomaterial e a mucosa por meio do aumento da permeabilidade (Perez; Mestres, 2016). Por outro lado, as formulações SCF-P2 (0,0447 ± 0,0030 $N \cdot cm^{-2}$) e SCF-P3 (0,0439 ± 0,0180 $N \cdot cm^{-2}$) apresentaram valores semelhantes à formulação controle SCF-C1 (0,0479 ± 0,0133 $N \cdot cm^{-2}$), sugerindo que o aumento da

concentração de goma xantana resultou em menor adesividade. Esse efeito pode ser atribuído à morfologia mais compacta dos *scaffolds*, que limita a interação com a superfície da mucosa (Mukasheva *et al*., 2024).

As formulações contendo fluconazol apresentaram as menores médias de mucoadesividade, sendo o valor mais baixo observado para o *scaffold* SCF-F3 (0,0257 ± 0,0095 $N \cdot cm^{-2}$), a presença do fármaco na formulação pode ter influenciado na mucoadesividade por reduzir a disponibilidade de grupos funcionais que realizam a interação com a mucosa (Jawadi et al., 2022). Resultados distintos foram reportados por Pahwa e Ahuja (2022), que desenvolveram *scaffolds* de nanocelulose de arroz e trigo combinados com goma gelana, alcançando valores de mucoadesividade de 830 ± 150 mN e 870 ± 190 mN, respectivamente. Além disso, os *scaffolds* incorporados com fluconazol e reticulados com trimetafosfato trissódico apresentaram valores significativamente superior, atingindo 2160 ± 200 mN para a formulação com nanocelulose de arroz e 1940 ± 220 mN para a de nanocelulose de trigo.

Embora as unidades de medida de mucoadesividade variem entre os estudos, observa-se que a utilização de agentes reticulantes aumenta substancialmente a interação com a mucosa. Esses achados sugerem que, para otimizar as propriedades mucoadesivas do polissacarídeo extraído do resíduo de *A. occidentale*, estratégias como o aumento da concentração polimérica, modificações químicas (por exemplo, inserção de grupos tiol) ou a substituição da goma xantana por polímeros com maior afinidade mucoadesiva podem ser alternativas promissoras (Cho *et al*., 2018).

CONCLUSÃO

Diante disso o resíduo fibroso do pseudofruto de *Anacardium occidentale* é um resíduo promissor para a extração de polissacarídeo pelo método de água quente e recuperação com etanol, obtendo $2{,}54 \pm 1{,}54\,\%$ de rendimento. O polissacarídeo obtido apresentou grupos funcionais característicos de polissacarídeos, com potássio, cálcio e fósforo como elementos predominantes em sua composição. Possui morfologia em formato de placas, com topografia rugosa e superfície irregular, além de boa estabilidade térmica em baixas e médias temperaturas, capacidade de sequestro de radicais livres e baixa toxicidade.

A partir do polissacarídeo extraído foi possível obter *scaffolds* com alta porosidade, com poros interconectados que favorecem a liberação de fármacos, com baixa mucoadesividade que pode ser melhorada com a modificação do polissacarídeo. Esses resultados evidenciam o potencial de utilização desses resíduos na obtenção de polissacarídeo, agregando valor a cadeia produtiva do caju, obtendo material com potencial aplicação em formulações farmacêuticas.

CONCLUSÃO GERAL

Diante do trabalho desenvolvido, conclui-se que os resíduos fibrosos do pseudofruto de *Anacardium occidentale* ainda é pouco explorado para a extração de polímeros, com poucos registros na literatura sobre extração e aplicações farmacêuticas. O polissacarídeo foi extraído do resíduo fibroso de *A. occidentale*, e a caracterização mostrou características físico-químicas promissoras para utilização como excipiente farmacêutico, possui baixa citotoxicidade e não apresenta atividade antimicrobiana. Os *scaffold* obtido apresentou porosidade adequada a esse tipo de formulação além de possuir morfologia favorável à sua aplicação da liberação de fármacos, embora a mucoadesividade seja baixa, o polissacarídeo apresenta possibilidade de modificação química para melhorar essa propriedade. Destacando o potencial de aproveitamento dos resíduos fibrosos de *A. occidentale* na obtenção de biomateriais com valor agregado.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, T. L. et al. Hydrogels based on lignin extracted from cashew apple bagasse and its application in antimicrobial wound dressings. **International Journal of Biological Macromolecules,** v. 262, p. 130169–130169, 2024.

ALVES, Anabela; SOUSA, Rui A.; REIS, Rui L. In vitro cytotoxicity assessment of ulvan, a polysaccharide extracted from green algae. **Phytotherapy Research**, v. 27, n. 8, p. 1143-1148, 2013.

ANTONISAMY, A. J. et al. Sustainable approaches on industrial food wastes to value-added products – A review on extraction methods, characterizations, and its biomedical applications. **Environmental Research**, v. 217, p. 114758–114758, 2023.

ARAÚJO, C. M. et al. Cashew-gum-based silver nanoparticles and palygorskite as green nanocomposites for antibacterial applications. **Materials Science & Engineering. C, Biomimetic Materials, Sensors and Systems**, v. 115, p. 110927–110927, 2020.

ASIKAINEN, S. et al. Hydrolysis and drug release from poly(ethylene glycol)-modified lactone polymers with open porosity. **European Polymer Journal**, v. 113, p. 165–175, 2019.

AUTISSIER, A. et al. Fabrication of porous polysaccharide-based scaffolds using a combined freeze-drying/cross-linking process. **Acta Biomaterialia**, v. 6, n. 9, p. 3640–3648, 2010.

BASU, A. et al. Polysaccharide-Based Conjugates for Biomedical Applications. **Bioconjugate Chemistry**, v. 26, n. 8, p. 1396–1412, 2015.

BRAND-WILLIANS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologia**, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Farmacopeia Brasileira*. 7. ed. Brasília, DF: Anvisa, 2019.

CALORI, I. R. et al. Polymer scaffolds as drug delivery systems. **European Polymer Journal**, v. 129, p. 109621, 2020.

CAMPOS, Débora A. et al. Study of antimicrobial activity and atomic force microscopy imaging of the action mechanism of cashew tree gum. **Carbohydrate polymers**, v. 90, n. 1, p. 270-274, 2012.

CARAMELLA, C. M. et al. Mucoadhesive and thermogelling systems for vaginal drug delivery. Advanced Drug Delivery Reviews, v. 92, p. 39–52, 2015.

CHO, I. S. et al. Synthesis and characterization of thiolated hexanoyl glycol chitosan as a mucoadhesive thermogelling polymer. **Biomaterials Research**, v. 22, n. 1, 2018.

CHUA, H. JB. et al. Visible light-based three-Dimensional Printing of Drug-Loaded scaffolds: a comparative study of Initiating systems and Drug Release profiles. **ACS Applied Polymer Materials**, v. 6, n. 17, p. 10853-10864, 2024.

CHUNG, H. J.; PARK, T. G. Surface engineered and drug releasing pre-fabricated scaffolds for tissue engineering. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 59, n. 4-5, p. 249–262, 2007.

DA COSTA, J. A. et al. Enhanced enzymatic hydrolysis and ethanol production from cashew apple bagasse pretreated with alkaline hydrogen peroxide. **Bioresource Technology**, v. 179, p. 249–259, 2015.

DANG, H. P. et al. 3D printed dual macro-, microscale porous network as a tissue engineering scaffold with drug delivering function. **Biofabrication**, v. 11, n. 3, p. 035014–035014, 2019.

DA SILVA, G. G. et al. Cashew apple byproduct: Gastroprotective effects of standardized extract. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 269, p. 113744, 2021.

DA SILVA, Katriane Carvalho et al. Mapeamento tecnológico da espécie Anacardium occidentale: Análise prospectiva no Brasil e no mundo. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, p. e47511427669-e47511427669, 2022.

DEL AGUA, I. et al. Conducting Polymer Scaffolds Based on Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) and Xanthan Gum for Live-Cell Monitoring. **ACS Omega**, v. 3, n. 7, p. 7424–7431, 2018.

DE MENEZES, C. S.V et al. Extraction of cell wall pectins and hemicellulose from agro-industrial wastes: A sustainable alternative source. **Carbohydrate Polymers**, v. 347, p. 122769, 2024.

DE VASCONCELOS, A. L. et al. Microscopic and histochemical characterization applied to quality control of Anacardium occidentale: Anacardium occidentale microanalyses. **South African Journal of Botany**, v. 171, p. 748-756, 2024.

DIMKPA, C. O.; BINDRABAN, P. S. Fortification of micronutrients for efficient agronomic production: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 36, n. 1, p. 7, 2016.

FILIPPI, M. et al. Natural Polymeric Scaffolds in Bone Regeneration. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 8, 2020.

FISCHER, E. R. et al. Scanning Electron Microscopy. **Current Protocols**, v. 4, n. 5, 2024.

GRENIER, J. et al. Mechanisms of pore formation in hydrogel scaffolds textured by freeze-drying. **Acta Biomaterialia**, v. 94, p. 195–203, 2019.

GUTIÉRREZ-PAZ, C. et al. The Cashew Pseudofruit (Anacardium occidentale): Composition, Processing Effects on Bioactive Compounds and Potential Benefits for Human Health. **Foods**, v. 13, n. 15, p. 2357–2357, 2024.

GUO, M. Q. et al. Polysaccharides: structure and solubility. **Solubility of polysaccharides**, v. 2, p. 8-21, 2017.

HAMIDI, M. R.; JOVANOVA, B.; PANOVSKA, T. K. Toxicological evaluation of the plant products using Brine Shrimp (Artemia salina L.) model. **Macedonian Pharmaceutical Bulletin/Makedonsko Farmacevtski Biltenv**. 60, n. 01, p. 9–18, 2014.

HASNAIN, M. S. et al. Extraction and characterization of cashew tree (Anacardium occidentale) gum; use in aceclofenac dental pastes. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 116, p. 1074–1081, 2018.

JAIN, S. et al. Potential of natural polymeric materials in pharmaceutics. **Pharmacological Research. Natural Products**, v. 2, p. 100014–100014, 2024.

JAWADI, Zina et al. Bio-inspired muco-adhesive polymers for drug delivery applications. Polymers, v. 14, n. 24, p. 5459, 2022.

JEYAVISHNU, K. et al. Increased Revenue with High Value-Added Products from Cashew Apple (Anacardium occidentale L.)—Addressing Global Challenges. **Food and Bioprocess Technology**, v. 14, n. 6, p. 985–1012, 2021.

JOSÉ, M. et al. Lyophilized tablets for focal delivery of fluconazole and itraconazole through vaginal mucosa, rational design and in vitro evaluation. **European Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 122, p. 144–151, 2018.

KACURAKOVA, M. et al. FT-IR study of plant cell wall model compounds: pectic polysaccharides and hemicelluloses. **Carbohydrate polymers**, v. 43, n. 2, p. 195-203, 2000.

KHADEMOLQORANI, S. et al. The determinant role of fabrication technique in final characteristics of scaffolds for tissue engineering applications: A focus on silk fibroin-based scaffolds. **Materials Science and Engineering: C**, v. 122, p. 111867, 2021.

KONG, L. et al. Physicochemical characterization of the polysaccharide from Bletilla striata: Effect of drying method. **Carbohydrate Polymers**, v. 125, p. 1–8, 2015.

KOLAWOLE, O. M.; OKEKE, P. K. Formulation and Evaluation of boronated 4-arm polyethylene glycol/polyvinyl pyrrolidone/methylcellulose-based fluconazole films for the Potential Treatment of Vaginal Candidiasis. **Journal of Drug Delivery Science and Technology**, v. 107, p. 106838, 2025.

KUILA, A. et al. Process optimization for aqueous extraction of reducing sugar from cashew apple bagasse: A potential, low cost substrate. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, n. 1, p. 62–66, 2011.

KUNJUMON, D.; SHENOY, A. M. Anacardium occidentale (Linn): A Brief Review. **International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research**, p. 6–9, 15 jul. 2022.

LI, J. H. et al. Efficient isolation of immunostimulatory polysaccharides from Lentinula edodes by autoclaving-ultrasonication extraction and fractional precipitation. **International Journal of Biological Macromolecules,** v. 237, p. 124216–124216, 2023.

LIU, S. et al. Preparation and sustained-release properties of poly(lactic acid)/graphene oxide porous biomimetic composite scaffolds loaded with salvianolic acid B. **RSC Advances**, v. 12, n. 45, p. 28867–28877, 2022.

LIU, Xuwei et al. Revisiting the contribution of ATR-FTIR spectroscopy to characterize plant cell wall polysaccharides. **Carbohydrate Polymers**, v. 262, p. 117935, 2021.

LLANES, L. et al. Biosourced Polysaccharide-Based Superabsorbents. **Polysaccharides**, v. 1, n. 1, p. 51–79, 2020.

MARQUES JÚNIOR, J. E.; ROCHA, M. V. P. Development of a purification process via crystallization of xylitol produced for bioprocess using a hemicellulosic hydrolysate from the cashew apple bagasse as feedstock. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, v. 44, n. 4, p. 713–725, 2021.

MCLAUGLIN, J. C. Crown gall tumors on potato discs and brine shrimp lethality: Two brine shrimp bioassays for higher plant screening. **Method in biochemistry: assays for bioactivity**, v. 6, p. 1-32, 1991.

MEYER, B. N.; FERRIGNI, N. R.; PUTNAM, J. E.; JACOBSEN, L. B.; NICHOLS, D. E.; MCLAUGHLIN, J. L.Brine shrimp: a convenient general bioassay for active plant constituents. Planta medica, v. 45, n. 5, p. 31-34, 1982.

MATHAVAN, Jebaratnam Joy; BIN HASSAN, Muhammad Hafiz. Thermal–chemical-mechanical characterization of Anacardium occidentale tree gum. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 271, p. 132396, 2024.

MENG, Y. et al. Density-oriented deep eutectic solvent-based system for the selective separation of polysaccharides from Astragalus membranaceus var. Mongholicus under ultrasound-assisted conditions. **Ultrasonics sonochemistry**, v. 98, p. 106522, 2023.

MOHAN, C. C. et al. Extraction and characterization of polysaccharides from tamarind seeds, rice mill residue, okra waste and sugarcane bagasse for its bio-thermoplastic properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 186, p. 394–401, 2018.

MOHANKUMAR, B. et al. Vaginosis: Advances in new therapeutic development and microbiome restoration. **Microbial pathogenesis**, v. 168, p. 105606, 2022.

MUKASHEVA, F. et al. Design and characterization of 3D printed pore gradient hydrogel scaffold for bone tissue engineering. **Bioprinting**, v. 39, p. e00341, 2024.

NSENGIYUMVA, E. M.; ALEXANDRIDIS, P. Xanthan gum in aqueous solutions: Fundamentals and applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 216, p. 583–604, 2022.

NGUYỄN, T. P. et al. Antimicrobial activity of cashew nut testa extract (Anacardium occidentale L.). Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển, v. 23, n. Special Issue 2, p. 155-165, 2024.

OLIVEIRA, Nathalia Nogueira et al. Cashew nut and cashew apple: a scientific and technological monitoring worldwide review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 1, p. 12-21, 2020.

OWEN, D. H.; KATZ, D. L. A vaginal fluid simulant. **Contraception**, v. 59, n. 2, p. 91–95, 1 fev. 1999.

PAHWA, R.; AHUJA, M. Nanocellulose-gellan cross-linked scaffolds for vaginal delivery of fluconazole. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 229, p. 668–683, 2022.

PÉREZ-GONZÁLEZ, G. L. et al. Mucoadhesive electrospun nanofibers for drug delivery systems: applications of polymers and the parameters' roles. **International Journal of Nanomedicine**, v. Volume 14, p. 5271–5285, 2019.

PEREZ, R. A.; MESTRES, G. Role of pore size and morphology in musculo-skeletal tissue regeneration. **Materials Science and Engineering**: C, v. 61, p. 922–939, 2016.

PRABAHARAN, M.; JAYAKUMAR, R. Chitosan-graft-β-cyclodextrin scaffolds with controlled drug release capability for tissue engineering applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 44, n. 4, p. 320–325, 2009.

RAJESH, R.; RAVICHANDRAN, Y. D. Development of a new carbon nanotube–alginate–hydroxyapatite tricomponent composite scaffold for application in bone tissue engineering. **International journal of nanomedicine**, v. 10, n. sup2, p. 7-15, 2015.

REDDY, M. S. B. et al. A Comparative Review of Natural and Synthetic Biopolymer Composite Scaffolds. **Polymers**, v. 13, n. 7, p. 1105, 2021.

RHAMON, C. et al. Synthesis and characterization of scaffolds produced under mild conditions based on oxidized cashew gums and carboxyethyl chitosan. **International Journal of Biological Macromoléculas**, v. 176, p. 26–36, 2021.

SABINO, B. S. et al. Polysaccharides from acerola, cashew apple, pineapple, mango and passion fruit co-products: Structure, cytotoxicity and gastroprotective effects. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, v. 24, p. 100228, 2020.

'1, D. F. Antibacterial susceptibility tests: dilution methods. **Manual of clinical microbiology**, 1995.

SAMOURIDES, A. et al. The effect of porous structure on the cell proliferation, tissue ingrowth and angiogenic properties of poly (glycerol sebacate urethane) scaffolds. **Materials Science and Engineering: C**, v. 108, p. 110384, 2020.

SALAY, Gerson et al. Acute toxicity assays with the Artemia salina model: Assessment of variables. **Alternatives to Laboratory Animals**, v. 52, n. 3, p. 142-148, 2024.

SALEHI et al. Anacardium Plants: Chemical, Nutritional Composition and Biotechnological Applications. **Biomolecules**, v. 9, n. 9, p. 465, 2019.

SCHWEIGGERT, R. M. et al. Carotenoids, carotenoid esters, and anthocyanins of yellow-, orange-, and red-peeled cashew apples (Anacardium occidentale L.). **Food Chemistr**y, v. 200, p. 274–282, 2016.

SERRANO-AROCA, Á. et al. Scaffolds in the microbial resistant era: Fabrication, materials, properties and tissue engineering applications. **Materials Today Bio**, v. 16, p. 100412, 2022.

SHANG, L.; WANG, S.; MAO, Y. Recent advances in plant-derived polysaccharide scaffolds in tissue engineering: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 277, p. 133830, 2024.

SHEIKH, B. A.; BHAT, B. A.; MIR, M. A. Antimicrobial resistance: new insights and therapeutic implications. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 106, n. 19-20, p. 6427–6440, 2022.

SILVA, A. C. Q. et al. Natural Polymers-Based Materials: A Contribution to a Greener Future. **Molecules**, v. 27, n. 1, p. 94, 2021.

SILVA, J. G. V. et al. Superabsorbent polyacrylamide nanocomposite hydrogels with cashew tree gum: Investigation of the effect of laponite on swelling capacity and rheological properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 302, p. 140487, 2025.

SZYMAŃSKA-CHARGOT, M. et al. A determination of the composition and structure of the polysaccharides fractions isolated from apple cell wall based on FT-IR and FT-Raman spectra supported by PCA analysis. **Food Hydrocolloids**, v. 150, p. 109688, 2024.

TENG, S.-H. et al. Functionally gradient chitosan/hydroxyapatite composite scaffolds for controlled drug release. **Journal of Biomedical Materials Research Part B Applied Biomaterials**, v. 90B, n. 1, p. 275–282, 2008.

THOMBARE, N. et al. Comparative FTIR characterization of various natural gums: a criterion for their identification. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 31, n. 8, p. 3372-3380, 2023.

TIWARI, S.; PATIL, R.; BAHADUR, P. Polysaccharide Based Scaffolds for Soft Tissue Engineering Applications. **Polymers**, v. 11, n. 1, p. 1, 2019.

VIEIRA, L. M.; SOUSA, M. S. B.; MANCINI-FILHO, J.; LIMA, A. Fenólicos totais e capacidade antioxidante in vitro de polpas de frutos tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal – SP, v. 33, n. 3, p. 888-897, 2011.

VISSCHER, L. E. et al. 3D printed Polycaprolactone scaffolds with dual macro-microporosity for applications in local delivery of antibiotics. **Materials Science and Engineering: C**, v. 87, p. 78–89, 2018.

WANG, C. et al. Extraction and characterization of pectic polysaccharides from Choerospondias axillaris peels: Comparison of hot water and ultrasound-assisted extraction methods. **Food Chemistry**, v. 401, p. 134156, 2023.

ZIÉ, M. et al. Valorization of cashew apple bagasse in food application: Focus on the use and extraction of nutritional or bioactive compounds. **Food and Humanity**, v. 1, p. 848–863, 2023.

ZHANG, Q. et al. Electrospun polymeric micro/nanofibrous scaffolds for long-term drug release and their biomedical applications. **Drug Discovery Today**, v. 22, n. 9, p. 1351–1366, 2017.

ANEXO A- QUADRO DE EXTRATEGIA DE BUSCA DA REVISÃO

Bases de dados	**Estratégias de busca**	**N de resultados da busca**
PubMed	(Anacardium occidentale OR cashew) AND (polysaccharide OR Biopolymers) AND (scaffold OR biocompatible materials)	20
ScienceDirect	(Anacardium occidentale OR Cashew pseudo-fruit bagasse) AND (Polysaccharides OR Biopolymers) AND (Plant Residues)	94
Web of science	(Anacardium occidentale OR cashew) AND (polysaccharide OR Biopolymers) AND (scaffold OR biocompatible materials)	14
Scopus	"Anacardium occidentale" AND "polysaccharides" AND biopolymers	8
BVS	(Anacardium occidentale OR cashew) AND (polysaccharide OR Biopolymers) AND (scaffold OR biocompatible materials)	16
Total		142
Remoção de duplicatas no Rayyan		10
Total após remoção das duplicatas		132
Estudos incluídos		5