REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

# DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE BIOCOMPÓSITO BASEADO EM QUITOSANA/ ARGILA/ COLÁGENO

# DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF A BIOCOMPOSITE BASED ON CHITOSAN, CLAY, AND COLLAGEN

# DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE UN BIOCOMPUESTO A BASE DE QUITOSANA, ARCILLA Y COLÁGENO

**ROSANIA DA SILVA ROCHA**
Centro Universitário Santo Agostinho, Brasil
E-mail: rosanya.rocha@gmail.com

**YASMIM MONTE DA SLVA**
Centro Universitário Santo Agostinho, Brasil
E-mail: yasmimmonte13@gmail.com

**LYGHIA MARIA ARAÚJO MEIRELLES**
Doutora em Desenvolvimento e Inovação Tecnológica em Medicamentos,
Centro Universitário Santo Agostinho, Brasil
E-mail: lyghiamaria@unifsa.com.br

## Resumo

O processo cicatricial requer condições adequadas para favorecer a regeneração tecidual e minimizar complicações associadas às lesões. Nesse contexto, filmes tópicos vêm sendo investigados como alternativas promissoras para aplicação em curativos, atuando como barreiras físicas capazes de proteger a ferida e manter um ambiente favorável à cicatrização. Assim, este trabalho teve como objetivo desenvolver e caracterizar filmes biocompósitos à base de quitosana, colágeno, e montmorilonita para potencial aplicação no tratamento de feridas. Os filmes foram produzidos pelo método de evaporação do solvente e caracterizados por meio de análises qualitativas, espessura, teor de umidade, solubilidade, intumescimento e espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). Os resultados evidenciaram a formação de filmes homogêneos, com boa integridade estrutural. A avaliação qualitativa demonstrou coloração amarelada atribuída à quitosana, enquanto a presença de colágeno promoveu superfícies mais claras e brilhantes, os filmes contendo montmorilonita apresentaram maior opacidade e menor maleabilidade, em razão do efeito de reforço estrutural exercido pela argila. As análises de umidade indicaram maior retenção hídrica em formulações com maior teor de quitosana, enquanto os ensaios de solubilidade demonstraram maior dissolução nos filmes contendo colágeno. O ensaio de intumescimento revelou boa capacidade de absorção de água. As análises de FTIR confirmaram a presença das bandas características dos constituintes da matriz polimérica, além de evidenciarem interações intermoleculares entre os componentes. Dessa forma, os filmes biocompósitos desenvolvidos apresentaram propriedades físico químicas promissoras para aplicação no tratamento de feridas, associando biocompatibilidade, baixo custo e utilização de materiais naturais.

**Palavras-chave:** Biopolímeros; Filmes Tópicos; Montmorilonita; Biocompósitos.

## Abstract

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

The wound healing process requires appropriate conditions to promote tissue regeneration and minimize complications associated with injuries. In this context, topical films have been investigated as promising alternatives for use in dressings, acting as physical barriers capable of protecting the wound and maintaining an environment conducive to healing. Thus, the objective of this study was to develop and characterize biocomposite films based on chitosan, collagen, and montmorillonite for potential application in wound treatment. The films were produced by the solvent evaporation method and characterized through qualitative analysis, thickness, moisture content, solubility, swelling, and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). The results showed the formation of homogeneous films with good structural integrity. Qualitative evaluation revealed a yellowish color attributed to chitosan, while the presence of collagen resulted in lighter and shinier surfaces; films containing montmorillonite exhibited greater opacity and lower flexibility due to the structural reinforcement effect exerted by the clay. Moisture analyses indicated higher water retention in formulations with higher chitosan content, while solubility tests showed greater dissolution in films containing collagen. The swelling test revealed good water absorption capacity. FTIR analyses confirmed the presence of characteristic bands of the polymer matrix constituents, in addition to evidencing intermolecular interactions between the components. Thus, the developed biocomposite films exhibited promising physicochemical properties for application in wound treatment, combining biocompatibility, low cost, and the use of natural materials.

**Keywords:** Biopolymers; Topical Films; Montmorillonite; Biocomposites.

## Resumen

El proceso de cicatrización requiere condiciones adecuadas para favorecer la regeneración tisular y minimizar las complicaciones asociadas a las lesiones. En este contexto, se están investigando las películas tópicas como alternativas prometedoras para su aplicación en apósitos, ya que actúan como barreras físicas capaces de proteger la herida y mantener un entorno favorable para la cicatrización. Así, el objetivo de este trabajo fue desarrollar y caracterizar películas biocompuestas a base de quitosano, colágeno y montmorilonita para su posible aplicación en el tratamiento de heridas. Las películas se produjeron mediante el método de evaporación del disolvente y se caracterizaron mediante análisis cualitativos, espesor, contenido de humedad, solubilidad, hinchamiento y espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR). Los resultados evidenciaron la formación de películas homogéneas, con buena integridad estructural. La evaluación cualitativa mostró una coloración amarillenta atribuida a la quitosana, mientras que la presencia de colágeno promovió superficies más claras y brillantes; las películas que contenían montmorilonita presentaron mayor opacidad y menor maleabilidad, debido al efecto de refuerzo estructural ejercido por la arcilla. Los análisis de humedad indicaron una mayor retención de agua en las formulaciones con mayor contenido de quitosana, mientras que los ensayos de solubilidad demostraron una mayor disolución en las películas que contenían colágeno. El ensayo de intumescencia reveló una buena capacidad de absorción de agua. Los análisis FTIR confirmaron la presencia de las bandas características de los componentes de la matriz polimérica, además de evidenciar interacciones intermoleculares entre los componentes. De este modo, los films biocompuestos desarrollados presentaron propiedades físico-químicas prometedoras para su aplicación en el tratamiento de heridas, combinando biocompatibilidad, bajo coste y el uso de materiales naturales.

**Palabras clave**: Biopolímeros; Películas Tópicas; Montmorilonita; Biocompuestos.

## 1. Introdução

Compósitos são materiais constituídos por uma fase de matriz, e uma fase de reforço. A matriz ou fase contínua geralmente é constituída de polímeros, sintéticos ou naturais. Por sua vez, a fase de reforço ou fase dispersa geralmente emprega insumos reticulantes, tais como argilominerais, no intuito de melhorar as

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

propriedades individuais dos insumos de partida (Krajišnik; Uskoković-Marković; Daković, 2024). A escolha de elementos naturais para formar o compósito acompanha a tendência pela busca de alternativas ecologicamente sustentáveis, considerando que a maioria dos produtos plásticos não é biodegradável, e pode levar centenas de anos para completar o seu ciclo de decomposição (Bertolino *et al*., 2020).

O biopolímero quitosana, obtido pela desacetilação da quitina presente principalmente no exoesqueleto de crustáceos, insetos e na parede celular de alguns fungos, é um dos mais estudados para aplicações biomédicas devido à sua biocompatibilidade, biodegradabilidade e não toxicidade (Khubiev *et al*., 2023). Comumente a quitosana é utilizada no preparo de sistemas de liberação de fármacos e na engenharia de tecidos, contudo os derivados deste polissacarídeo exibem como desvantagem a alta fragilidade (Yang *et al*., 2024).

À vista disso, o colágeno presente exclusivamente em organismos animais é um biopolímero de origem natural, formado por cadeias de aminoácidos. Sua incorporação em sistemas de liberação contribui significativamente para o aumento da flexibilidade, uma vez que suas cadeias poliméricas apresentam elevada afinidade e interação com a quitosana (Martínez Rodríguez *et al., 2024).*

Além das combinações entre diferentes biopolímeros, os biocompósitos podem ter em sua composição argilominerais. São biomateriais hidrofílicos com dimensões em escala nanométrica (Katti *et al*., 2022). No que se refere aos sistemas de liberação, as argilas podem melhorar a resistência mecânica, estabilidade térmica, viscosidade e resistência coesiva (Melo *et al*., 2022).

Filmes curativos são coberturas finas e flexíveis que protegem o tecido lesionado e favorecem o processo de cicatrização de ferimentos. As características de cada filme mudam de acordo com a escolha do polímero e da composição do filme. Assim, um curativo ideal deve apresentar biocompatibilidade, resistência mecânica apropriada, capacidade de hidratação e absorção de exsudatos, manutenção de um ambiente úmido, estímulo à regeneração tecidual e viabilidade econômica (Sionkowska; Michalska-Sionkowska; Walczak, 2020).

Diante disso, a finalidade deste trabalho consistiu em caracterizar e analisar

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

filmes produzidos com biopolímeros (quitosana e colágeno) e argila. O propósito principal foi de obter um filme biocompatível, com aproveitamento de materiais renováveis, e com grande potencial de utilização como curativo em ferimentos tópicos.

## 2. Revisão da Literatura

### 2.1 Polímeros

Os polímeros compreendem macromoléculas formadas a partir de diferentes tipos de conexões estruturais, com uma faixa variada de massa molecular, mediante a ligação química de unidades repetidas. Esses materiais podem ser obtidos por via sintética ou da natureza. São exemplos daqueles que têm origem sintética o polietileno, poliestireno, poliamidas, policloreto de vinila, resinas de fenol-formaldeído, entre outros. Por outro lado, os polímeros naturais têm como monômeros biomoléculas que integram o metabolismo dos seres vivos, como a glicose, que dá origem à celulose e ao amido, outros exemplos de biopolímeros são os polissacarídeos como a lignina, quitina, goma guar, alginatos, dentre outros (Hahn; Hennecke, 2023; Kuperkar *et al*., 2021).

Tais materiais têm diversas funções, como a proteção contra bactérias, atuando como reserva energética, ou com função estrutural em organismos vegetais e animais. Cada polímero tem um conjunto de propriedades variáveis, como dureza, estabilidade à tração e elasticidade, possibilitando a seleção do polímero de acordo com a finalidade desejada (Satchanska; Davidova; Petrov, 2024). Mas o homem percebeu que suas potencialidades poderiam ser exploradas em outros segmentos, como a indústria farmacêutica e alimentícia (Hahn; Hennecke, 2023).

#### 2.1.1 Quitosana

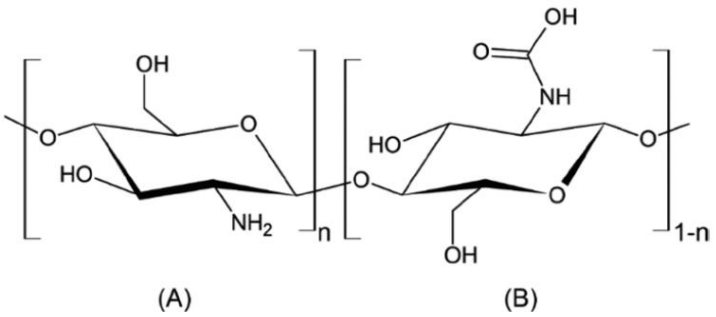
Os polímeros obtidos de fontes biológicas têm a vantagem de serem renováveis e de baixo custo. Dentre eles, está a quitosana, produto da N-desacetilação da quitina, e um dos principais elementos do exoesqueleto de insetos e crustáceos (Meera; Arun; Ramesan, 2023). A estrutura semicristalina da quitina é composta pelas unidades monoméricas β- (1→4)-2-amino-2-desoxi-glicopiranose e β-(1→4)-2-acetamida-2-desoxi-D-glicose, são unidas por ligações

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

glicosídicas (Figura 1). Neste contexto, a quitosana é um biopolímero derivado da quitina, composto predominantemente por unidades de D-glicosamina (Rajinikanth B *et al*., 2024).

**Figura 1***:* Representação esquemática da estrutura química das unidades repetitivas da quitosana.




Fonte: Macedo *et al*., (2022).

A quitosana é um polissacarídeo com excelentes propriedades de hidratação e adsorção, sendo considerada segura. Sua natureza catiônica é determinada pela presença do grupo amino, conferindo-lhe solubilidade em meio ácido. Essa característica é excelente na formação de matriz extracelular, pois possui a facilidade de atrair moléculas carregadas negativamente (Holešová *et al*., 2024; Murugan *et al*., 2024).

Entre as vantagens relacionadas ao uso da quitosana na constituição de biomateriais destaca-se a sua biocompatibilidade, o que permite a interação segura com tecidos vivos; a habilidade do material de se decompor naturalmente no ambiente biológico; capacidade de inibição do crescimento de microrganismos por meio da formação de ligação glicosídica com a parede celular bacteriana, além de atuar como quelante de nutrientes, enfraquecendo assim o microrganismo e inibindo a síntese proteica, levando-o à morte (Macedo *et al*., 2022).

### 2.1.2 Colágeno

O colágeno desempenha papel fundamental como a principal proteína de sustentação da matriz extracelular, sua estrutura pode ser vista na figura 2. Em virtude de sua elevada biocompatibilidade, capacidade de degradação biológica e baixo potencial imunogênico, esse material tem demonstrado relevante potencial biomédico. Suas aplicações abrangem desde o desenvolvimento de curativos, em procedimentos de cirurgia odontológica, ortopédica, na engenharia de tecidos,

REMUNOM
ISSN 2178-6925

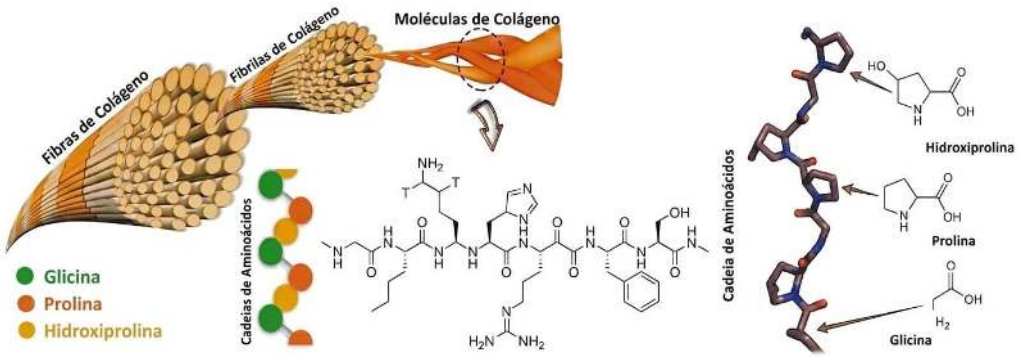
**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

aplicações terapêuticas, além de ser utilizado nas indústrias alimentícia e cosmética (Sen *et al*.,2025).

A ampla disponibilidade e a facilidade de aplicação clínica impulsionaram o desenvolvimento de produtos acessíveis, que demonstram maior eficácia na cicatrização em comparação aos tratamentos convencionais. O colágeno é capaz de favorecer a adesão, a migração e a multiplicação de fibroblastos, além disso, o colágeno possui caráter higroscópico, formando uma película hidratante na superfície da pele, o que contribui para a melhoria temporária da hidratação e da elasticidade cutânea bem como, ação antimicrobiana, que contribuem para o recrutamento e a concentração de leucócitos nas áreas inflamadas. Estes efeitos contribuem, portanto, para a formação do tecido de granulação, etapa essencial para a progressão adequada do processo de cicatrização (Kusnadi *et al*., 2024; Md Fadilah *et al*., 2024).

Dessa forma, o colágeno hidrolisado pode ser associado a outros polímeros naturais ou incorporado a sistemas de liberação controlada de agentes bioativos, ampliando as suas aplicações biomédicas e possibilitando o desenvolvimento de curativos que favorecem o efeito antimicrobiano e anti-inflamatório, criado um microambiente favorável à cicatrização (Kulkarni *et al.*, 2022; Ocak, 2018).

**Figura 2**: Estrutura das fibras de colágeno, fibrilas, hélices triplas de cadeias alfa e estrutura molecular do colágeno tipo I e aminoácidos (hidroxiprolina, prolina e glicina).




Fonte: Imagem adaptada de Jafari *et al*., 2020; Kusnadi *et al*., 2024 com auxílio da IA Gemini modelo Imagen 3, 2026.

## 2.2 Argilominerais

Os argilominerais são compostos por partículas microcristalinas, conhecidas

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

como minerais de argila, com diâmetro inferior a 2 µm, os quais tiveram seu uso identificado desde os tempos pré-históricos na elaboração de utensílios e em outras áreas, como saúde e arquitetura. As argilas são abundantemente disponíveis na crosta terrestre, acessíveis e recicláveis (Akisanmi, 2022).

Os argilominerais são minerais secundários formados pelo intemperismo, processo que provoca a degradação e transformação de minerais primários presentes nas rochas, como feldspato, piroxênios e anfibólios. Durante esse fenômeno, a estrutura química original dos minerais é modificada. Como resultado, formam-se estruturas cristalinas compostas por camadas ordenadas de silício e diversos elementos, cuja composição depende da rocha de origem e das condições do ambiente de formação (Fu; Jian; Pan, 2023; Kumari; Mohan, 2021).

Os argilominerais pertencem à família dos filossilicatos, a estrutura básica é composta por camadas de sílica tetraédrica e alumínio octaédrico, formando o espaçamento basal, que facilita a penetração de água e outras moléculas devido às ligações frágeis entre as camadas, promovendo o intumescimento da estrutura. Quanto à organização, os argilominerais podem ser classificados em dois grupos principais: 1:1, com uma única folha tetraédrica e outra octaédrica, e 2:1, composto por duas folhas tetraédricas intercaladas por uma folha octaédrica (Damato *et al*., 2022).

As propriedades dos argilominerais são determinadas a partir da sua estrutura química, sua carga superficial e morfologia, as quais resultam em alta capacidade de troca catiônica, granulometria fina, boa porosidade, capacidade de intumescimento e retração, retenção de água, dureza e resistência no estado seco (Tian *et al*., 2024). Além disso, podem apresentar caráter hidrofílico ou hidrofóbico, tais propriedades tornam os argilominerais materiais versáteis, cuja incorporação em matrizes poliméricas pode resultar em sistemas de liberação prolongada, adesivos curativos, ou componentes em máscaras faciais (França *et al*., 2020; Lopes *et al*., 2020; Nomicisio *et al*., 2023).

### 2.2.1 Montmorilonita

A bentonita é uma rocha constituída por argilas extremamente coloidais e plásticas, composta principalmente por montmorilonita, que pertence ao grupo das

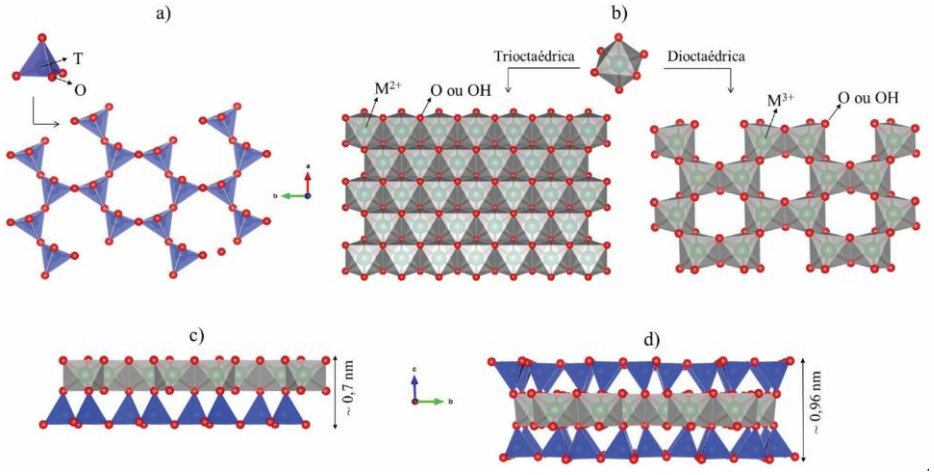
REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

esmectitas, o grupo de argilominerais mais abundante do mundo. Também pertencem ao grupo das esmectitas a beidelita, nontronita, hectorita e saponita. As variedades cálcica e sódica da montmorilonita são as mais comuns. Esses argilominerais são derivados de minerais básicos, que podem ser classificados como primários, secundários ou acessórios, a montmorilonita é um filossilicato dioctaédrico com estrutura esquemática 2:1 (Fernandes *et al*., 2023; França *et al*., 2020).

A estrutura da montmorilonita consiste em uma folha octaédrica de alumina envolvida por duas folhas tetraédricas de sílica dispostas em lados opostos, conforme ilustrado na Figura 3. As camadas tetraédricas e octaédricas podem sofrer substituição isomórfica, por exemplo, $Al^{3+}$ por $Mg^{2+}$ na folha octaédrica ou $Si^{4+}$ substituído por $Al^{3+}$ na rede tetraédrica (Mokhtar *et al*., 2023). Os argilominerais podem possuir duas configurações estruturais distintas em sua camada octaédrica: dioctaédrico, no qual apenas dois terços das posições de progressão dos cátions no octaedro são preenchidos por átomos centrais trivalentes; ou trioctaédrico, onde as posições de progressão dos cátions no octaedro são ocupadas por cátions divalentes (Belghazdis; Hachem, 2022; Tian *et al*., 2024).

**Figura 3**: Representação das lâminas, a) tetraédrica, b) octaédrica, e das lamelas c) 1:1 e d) 2:1 dos argilominerais.




Fonte: França *et al*. (2020).

A montmorilonita é amplamente utilizada em diversos produtos medicinais

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

devido às suas propriedades minerais, que incluem alta área de superfície, excelente biocompatibilidade, capacidade de troca catiônica e forte poder de adsorção. Além disso, destaca-se pela notável capacidade de intumescer em solução aquosa, favorecendo a interação com polímeros. Graças a essas características, a montmorilonita é bastante empregada na indústria farmacêutica no tratamento de dores, feridas abertas, diarreias, hemorroidas, distúrbios gastrointestinais e em sistemas de liberação controlada de fármacos. Também é muito valorizada na área cosmética, devido às suas propriedades de descontaminação, desintoxicação, alívio de coceiras, e ainda tem aplicações no setor alimentício (Bekaroğlu; İşçi, 2022).

**2.3 Biocompósitos**

Nem sempre um mesmo material consegue apresentar todas as propriedades necessárias para uma determinada aplicação. Logo, uma nova classe de materiais pode ser elaborada a partir de partículas de reforço dispersas em uma matriz polimérica, ambos de origem natural. Esses materiais, denominados biocompósitos têm ganhado interesse devido às suas propriedades vantajosas em termos de funcionalidade e adequação para aplicações específicas, permitindo a utilização na engenharia de tecidos, liberação de fármacos, sensores eletroquímicos, e o desenvolvimento de dispositivos biomédicos, como próteses e fios (Mesquita *et al*., 2023; Amari *et al*., 2021).

Os biocompósitos podem ser compostos por diferentes materiais, incluindo inorgânico-inorgânico, orgânico-inorgânico e orgânico-orgânico. Entre os componentes orgânicos, destacam-se fibras vegetais, resíduos agroindustriais e polímeros naturais, enquanto os argilominerais são amplamente utilizados como fração inorgânica para reduzir a quantidade de material polimérico necessário, bem como para conferir maior resistência ao mesmo. Os polímeros naturais são frequentemente escolhidos para a preparação de biocompósitos devido às suas propriedades biológicas atrativas, como biodegradabilidade e biocompatibilidade (Silva *et al*., 2020).

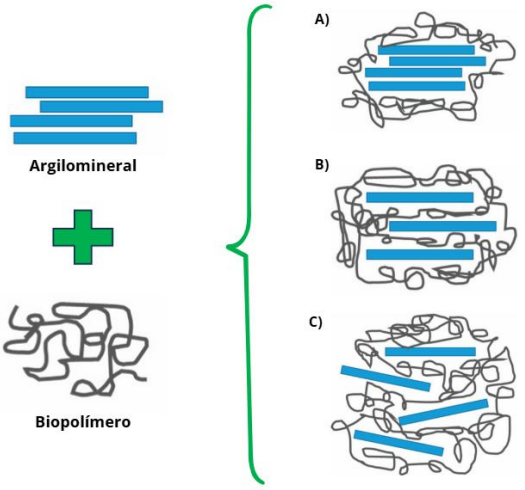
A junção de argilominerais com biopolímeros proporciona benefícios por otimizar o seu desempenho em diferentes contextos tecnológicos (Oliveira *et al*.,

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

2022). Para obter materiais bem estruturados, é fundamental assegurar a distribuição uniforme da argila na matriz do biopolímero. O grau de separação das nanopartículas pode ser determinado por diferentes mecanismos representados na Figura 4. Enquanto a floculação preserva a estrutura lamelar do argilomineral, a intercalação permite a inserção de cadeias poliméricas entre as lamelas, promovendo certo distanciamento entre elas, sem alterar sua organização. Em contrapartida, a esfoliação separa completamente as unidades estruturais do argilomineral, causando maior dispersão e propriedades mais diferenciadas em relação aos materiais de partida (Trigueiro *et al*., 2024).

**Figura 4**: Diferentes estruturas de nanocompósitos obtidas pela interação entre argilominerais e biopolímeros: a) compósito convencional; b) fase intercalada; c) fase esfoliada.




Fonte: Adaptado de Trigueiro *et al*., 2024.

## 2.4 Filmes tópicos

Os filmes tópicos funcionam como barreiras físicas para feridas, controlam o ambiente prevenindo inflamações e aceleram o processo de cicatrização. Podem ser produzidos por materiais sintéticos, naturais ou uma mescla de ambos. São recomendados para feridas de espessura parcial, lacerações, certas úlceras de baixo exsudato, necrose e infecção. O desempenho está relacionado à composição química e a escolha é determinada pelo tipo de ferida (Jiménez *et al*., 2023).

Geralmente apresentam características de flexibilidade, elasticidade e transparência considerável. Os filmes são permeáveis às trocas gasosas e à

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

passagem de vapor, evitando a maceração do tecido e o excesso de umidade. Outra funcionalidade envolve o carreamento de fármacos e fatores de crescimento, proporcionando ação terapêutica (Rani *et al*., 2022).

Esse tipo de sistema de liberação pode ter efeitos locais ou sistêmicos. Porém essas particularidades estão condicionadas ao peso molecular, à lipofilicidade e à meia-vida do fármaco. Também é importante que o sistema seja capaz de absorver o exsudato, pois o acúmulo desse líquido pode favorecer infecções. Logo, a estrutura do filme deve ser gradualmente solubilizada ou biodegradada quando em contato com os fluidos biológicos. Segundo Riccio *et al*. (2022) o desenvolvimento de filmes tópicos provou ter relevância considerável, com destaque para a utilização da quitosana em diferentes combinações, visando a liberação controlada de fármacos.

Os argilominerais podem ser incorporados aos filmes poliméricos, pois além de possuírem características intrínsecas que podem contribuir para a melhoria dos tratamentos de cicatrização de feridas, sua escala nanométrica permite uma mistura íntima com os polímeros, atuando como agentes modificadores do comportamento reológico e térmico dos biopolímeros e da liberação de fármacos (Melo *et al*., 2022).

O método de evaporação do solvente é amplamente utilizado na produção de filmes, sendo preferido em relação a alternativas como lixiviação de sal, revestimento por centrifugação, fiação microfluídica e impressão 3D. A produção do filme por evaporação do solvente envolve a solubilização do polímero e do plastificante, seguida pelo espalhamento da solução sobre um suporte e, finalmente, a remoção do solvente (Salawi, 2022). Tal processo oferece excelente relação custo-benefício, simplicidade de execução, praticidade de aplicação e capacidade de produzir filmes robustos com propriedades mecânicas adequadas para diversas finalidades (Cupone *et al*., 2022).

No entanto, um ponto negativo é a ocorrência de variações significativas entre os lotes, causadas por condições ambientais. A formação do filme ocorre por meio da orientação molecular das cadeias poliméricas e da intercalação de moléculas plastificantes. O crescimento de cristais ocorre durante a evaporação, o que provoca o aumento da concentração de soluto e formação do filme. A adição de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

compostos naturais, como extratos, curcumina, polifenóis e óleos essenciais, além de antibióticos, amplia a funcionalidade do filme. Esses compostos podem ser solubilizados em solventes voláteis compatíveis para a sua incorporação (Zhang *et al*., 2021).

### 2.4.1 Vantagens e limitações

Gaze, curativo e algodão auxiliam no tratamento de lesões, sendo adotados em métodos tradicionais e passivos na cicatrização. Porém, filmes tópicos possibilitam um meio favorável à cicatrização por meio da manutenção de um ambiente úmido, da absorção de exsudato e da proteção contra bactérias e outros patógenos, além de oferecer propriedades antioxidantes, curativas, boa adesão e possibilidade de carrear ativos (Yu; Zhang; Guo, 2022).

Outrossim, possuem características de biocompatibilidade, baixa imunogenicidade e toxicidade limitada. A transparência desse tipo de material possibilita a visualização da área lesionada, contribuindo para o monitoramento do fechamento da ferida, o que geralmente não é possível em alternativas tradicionais. Além disso, os curativos tradicionais frequentemente se aderem ao tecido da pele, podendo causar desconformo durante a remoção e segundas lesões (Prasathkumar; Sadhasivam, 2021).

Certas limitações comuns às matrizes poliméricas podem ser superadas por meio da combinação com outros materiais. Os filmes à base de quitosana, por exemplo, apresentam baixa resistência mecânica, assim como filmes compostos apenas por colágeno possuem baixa resistência à tração e baixa estabilidade. Apesar disso, os biopolímeros tem boa biocompatibilidade, biodegradabilidade e boa capacidade filmogênica. E, a literatura demonstra que a adição de nanomateriais contribuem para aprimorar suas propriedades físicas. Logo, um material de reforço, como o argilomineral, poderia desempenhar um papel reticulante na estrutura, conferindo maior resistência mecânica ao produto final (Sheokand *et al*., 2023; Silva *et al*., 2023).

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 Tipo de pesquisa

Este trabalho é caracterizado como uma pesquisa experimental, de caráter

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

qualitativo e quantitativo, pois envolveu a preparação e o desenvolvimento de filmes a partir da combinação de quitosana, montmorilonita, e colágeno, seguida de análises laboratoriais a fim de determinar as propriedades físico-químicas dos filmes.

### 3.2 Local da pesquisa

O preparo dos filmes e a maioria das suas análises foi realizada no Centro Universitário Santo Agostinho-UNIFSA, localizado na Av. Barão de Gurguéia, no. 2636, São Pedro, Teresina-PI, CEP 64019352. No entanto, algumas análises foram realizadas na Universidade Federal do Piauí-UFPI, Campus Ministro Petrônio Portela, Ininga, Teresina-PI, CEP 64049-550.

### 3.3 Materiais

A quitosana (Golden-Shell Biochemical), com grau de desacetilação de 85%, a montmorilonita Veegum® (Vanderbilt Minerals LLC) e o colágeno hidrolisado Peptan® (SM Empreendimentos Farmacêuticos) foram doados para a realização deste estudo. Os reagentes utilizados incluíram ácido acético glacial (99,7%, Dinâmica, Brasil) e glicerina (99,5%, Dinâmica, Brasil), ambos disponíveis no Laboratório de ciências Farmacêuticas do Centro Universitário Santo Agostinho. Todos os materiais e reagentes já se encontravam em grau analítico e/ou adequado para uso laboratorial, não sendo necessário qualquer processamento prévio para purificação.

### 3.4 Coleta de dados

A pesquisa teve início com a obtenção dos filmes após alguns ensaios iniciais para determinar as concentrações de partida. Em seguida, avaliou-se diferentes combinações dos insumos. A partir do preparo dos filmes, procedeu-se a sua caracterização físico-química.

#### 3.4.1 Preparo do filme

As formulações dos filmes foram preparadas de acordo com o método de evaporação do solvente. Foram preparados filmes constituídos pelos polímeros quitosana e colágeno, e o argilomineral montmorilonita. Diferentes formulações foram feitas a partir de planejamento fatorial, empregando como variáveis a adição de argilomineral e do colágeno na amostra (Tabela 1).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

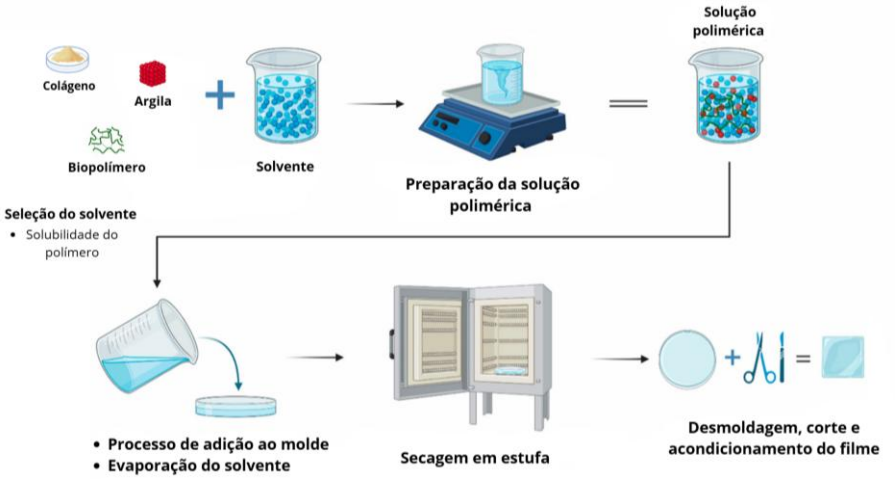
**Tabela 1**: Formulações dos filmes obtidos.

| Filmes | Quitosana | Colágeno | Montmorilonita | Glicerol |
|---|---|---|---|---|
| **A** | 1,5% | --- | --- | 0,5% |
| **B** | 1% | 0,5% | --- | 0,5% |
| **C** | 1,5% | --- | 0,05% | 0,5% |
| **D** | 1% | 0,5% | 0,05% | 0,5% |

Fonte: Elaboração própria.

O preparo do filme foi realizado pelo método de evaporação do solvente, adaptando-se a metodologia descrita por Jiménez *et al*. (2023), conforme representado na Figura 5.

**Figura 5**: Método de evaporação do solvente para a produção do filme.




Fonte: Adaptado de Jiménez *et al*., 2023.

A quitosana, e o colágeno foram solubilizados em uma solução aquosa de ácido acético 1% (v/v), assim como a montmorilonita foi dispersa no mesmo solvente. O processo ocorreu sob agitação, utilizando um agitador magnético (Fisatom, mod711s). Quando as soluções foram reunidas, adicionou-se o plastificante. Por fim, um determinado volume desta solução foi disposto em um molde de silicone até a secagem sob 60°C com o auxílio da estufa (Nova Ética, 410-3ND). Após esse processo as amostras foram devidamente armazenadas.

### 3.4.2 Caracterização

#### 3.4.2.1 Avaliação qualitativa

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

Inicialmente procedeu-se a caracterização dos filmes elaborados por meio de análises visuais, com intuito de excluir os filmes com falhas estruturais. Com base nessas análises foram observadas características como homogeneidade, maleabilidade, coloração e brilho (Severo; Fook; Leite, 2022).

### 3.4.2.2 Umidade

Para determinar a umidade, os filmes foram cortados em dimensões de 2cm$^2$ e pesados em uma balança analítica de precisão (Shimadzu, ATY224) em triplicata. Em seguida, as amostras dos filmes foram secas a 105ºC por 1h. Após a secagem, os filmes foram imediatamente pesados. O percentual de umidade foi calculado conforme a equação de Barros (2021), onde MI foi a massa inicial (g) e MF e massa final (g).

$$U\% = \frac{(MI - MF)}{MI} \times 100$$

### 3.4.2.3 Solubilidade

A solubilidade (S) foi determinada de acordo com o método utilizado por Bishnoi *et al.* (2023). Os filmes foram cortados em dimensões correspondentes a uma área superficial de 1,5 cm$^2$ e, em seguida, pesados para a determinação do peso inicial ($C_0$). Cada filme foi imerso em 250 mL de água destilada, mantendo-se agitação por 1 hora a 100 rpm, em temperatura ambiente (25,0 ± 2,0 °C). A fração do filme não solubilizada foi coletada, e levada para a estufa a 60°C, sendo pesada ao final (Cf). As análises foram realizadas em triplicata. A solubilidade do filme foi calculada pela seguinte equação:

$$S\% = \frac{(C0 - Cf)}{C0} \times 100$$

Onde $C_0$ = peso inicial do filme e $C_f$ = peso do filme ao final do ensaio após secagem.

### 3.4.2.4 Espessura

A espessura do filme foi medida com um auxílio de um micrômetro digital (Shahe) com intervalo de 0 – 25 mm e precisão de ± 0,01 mm. A espessura foi realizada em oito medições aleatórias de cada um dos filmes (Oliveira *et al*., 2019).

### 3.4.2.5 Ensaio de intumescimento

A metodologia foi adaptada de Bishnoi *et al.* (2023). O grau de intumescimento

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

dos filmes foi avaliado com o objetivo de determinar a capacidade de absorção de fluidos à temperatura ambiente. O solvente utilizado foi tampão fosfato pH 7,4.

As amostras foram recortadas em dimensões correspondentes a uma área superficial de 1 cm², sendo determinado o peso das amostras antes de iniciar o ensaio. Em seguida, os fragmentos do filme foram submersos em 50 mL da solução tamponada por 60 minutos. Após esse período, as amostras foram retiradas da solução, removendo-se o excesso superficial de líquido, e então pesadas novamente. O grau de intumescimento foi calculado por meio da equação apresentada abaixo:

$$\mathrm{Gi\%} = \frac{\mathrm{M0} - \mathrm{Mt}}{\mathrm{M0}} \times 100$$

Em que Mt é a massa da amostra no tempo t = 60 minutos, e M0 é a massa da amostra no tempo inicial do experimento.

3.4.2.6 Resistência mecânica

Foram avaliadas as propriedades mecânicas do filme por meio do ensaio padrão, utilizando um texturômetro TA.XT2 (Stable Micro Systems). O filme foi submetido à análise de resistência à tração no ponto de ruptura, expressa em megapascal (Mpa). Durante o ensaio, o filme foi fixado entre duas garras do equipamento de tração, sendo que uma permanecerá estática, enquanto a outra se deslocou em uma taxa constante, provocando o estiramento e, consequentemente, a ruptura do filme. A partir desses dados, foi possível inferir a capacidade mecânica do material quanto à sua resistência, característica essencial para a sua aplicação em curativos (Santana, 2019).

3.4.2.7 Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

Essa técnica permiti a identificação e caracterização dos grupos funcionais presentes nos filmes, sendo fundamental para confirmar a composição química dos materiais utilizados. Além disso, o FTIR é uma ferramenta importante para detectar possíveis grupos funcionais envolvidos nas interações que dão origem ao compósito, influenciando a sua estabilidade (Alcântara *et al*., 2020).

A análise dos filmes foi realizada por meio da técnica de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) Bruker Optics (VERTEX 70V)

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

registrado com 16 varreduras no modo ATR, de 4000 a 400 $cm^{-1}$, com resolução de 4 $cm^{-1}$.

### 3.5 Análise de dados

As amostras analisadas qualitativamente tiveram seus resultados expressos de modo descritivo, ao passo que as análises quantitativas foram expressas a partir da média dos valores obtidos ± desvio padrão. Os gráficos foram obtidos a partir do software GraphPad Prism, versão 8.0.

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1 Avaliação qualitativa

O aspecto dos filmes desenvolvidos a partir das diferentes formulações encontra-se no Quadro 1. De modo geral, observou-se que todos os filmes apresentaram coloração amarelada, variando entre tonalidade mais clara à intensa. Essa característica pode ser atribuída à quitosana, que apresentou grau de desacetilação de aproximadamente 85% e coloração bege clara na forma de pó. Ressalta-se que tal coloração foi observada desde a preparação da solução filmogênica até a obtenção dos filmes, após o processo de secagem (Severo; Fook; Leite, 2022). Os filmes B e D apresentaram coloração mais clara em comparação aos demais filmes. Esse comportamento pode ser associado à presença do colágeno, cuja coloração varia de branco a âmbar pálido (Martínez Rodríguez *et al.,* 2024).

**Quadro 01** - Avaliação dos aspectos físicos e visuais dos filmes A, B, C e D.

| Aspectos | Filme A | Filme B | Filme C | Filme D |
|---|---|---|---|---|
| **Coloração** | + + + | + | + + | + |
| **Homogeneidade** | + + + | + + + | + + + | + + + |
| **Maleabilidade** | + + | + + + | + | + + |
| **Brilho** | + + | + + + | + | + |

**Fonte:** Elaboração própria

Nota: Aspecto fortemente presente/intenso (+ + +), aspecto moderadamente presente/intenso (+ +) e Aspecto pouco presente/intenso (+).

O Quadro 1 apresenta a avaliação qualitativa da homogeneidade dos filmes obtidos. A uniformidade observada em todas as amostras indica boa interação entre

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

os componentes, favorecida pela adequada dispersão do plastificante após agitação (Mora-López *et al.*, 2023), independentemente da composição adotada. Esse resultado indica que houve adequada dispersão dos constituintes em todas as formulações. O glicerol atua interrompendo as ligações de hidrogênio intra- e intermoleculares das cadeias poliméricas, promovendo o aumento do espaçamento intermolecular para conferir maior flexibilidade ao filme (Ben; Samsudin; Yhaya, 2022).

Os filmes C e D contêm a argila montmorilonita, resultando em materiais menos maleáveis. Esse comportamento pode ser atribuído ao fato de a argila atuar como agente de reforço da matriz polimérica, funcionando como uma fase inorgânica rígida no sistema. Nesse contexto, suas lamelas minerais interagem com as cadeias poliméricas por meio de interações intermoleculares, principalmente ligações de hidrogênio e interações eletrostáticas, promovendo maior coesão estrutural, aumento da rigidez do material e, consequentemente, redução da mobilidade das cadeias poliméricas (França *et al.*, 2020., Trigueiro *et al.*, 2024).

O brilho é uma propriedade óptica que indica a capacidade de uma superfície de refletir a luz em uma direção especular. Entre os filmes analisados, o filme B foi o que mais se destacou quanto a essa característica, enquanto os filmes C e D apresentaram um aspecto mais opaco. A quantidade de luz refletida é proporcional ao nível de brilho. Quanto mais lisa for a superfície do filme, maior será a reflexão da luz incidente. Em contrapartida, superfícies ásperas e irregulares apresentam aspecto mais fosco, ou seja, refletem menor quantidade de luz (Yong *et al.*, 2022). Tais achados coincidem com a adição de argilomineral aos filmes C e D.

### 4.2 Umidade, solubilidade, espessura, intumescimento e propriedades mecânicas

A Tabela 2, a seguir, reuniu os dados quantitativos referentes às propriedades físico-químicas dos filmes obtidos.

**Tabela 2**: Resultados das análises de solubilidade, umidade, espessura, intumescimento e propriedades mecânicas.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

| Filmes | Umidade (%) | Solubilidade (%) | Espessura (µm) | Intumescimento (%) | Tensão σ (Mpa) |
|---|---|---|---|---|---|
| **A** | 24,48 ± 2,87 | 27,49 ± 3,08 | 74,91 ± 3,06 | 1,35 ± 2,38 | 9,67 ± 2,35 |
| **B** | 16,65 ± 4,52 | 37,46 ± 2,19 | 52,5 ± 2,26 | 4,28 ± 3,33 | 6,64 ± 0,10 |
| **C** | 16,61 ± 1,47 | 25,85 ± 6,16 | 77,41 ± 7,18 | 26,98 ± 2,07 | 18,93 ± 1,00 |
| **D** | 18,17 ± 2,72 | 47,73 ± 3,31 | 61,70 ± 2,31 | 25,05 ± 5,00 | 6,53 ± 0,77 |

**Fonte:** Elaboração própria.

### 4.2.1 Umidade

Observou-se que o filme A apresentou o maior teor médio de umidade (24,48%), indicando maior capacidade de retenção de água em sua estrutura (Tabela 2). Esse comportamento está relacionado à composição do filme desenvolvido, uma vez que a quitosana é um polissacarídeo constituído predominantemente por unidades de glucosamina, apresentando grupos hidrofílicos (–OH e $–NH_2$) ao longo de sua cadeia. Esses grupos favorecem a interação com moléculas de água, aumentando a capacidade de retenção hídrica do material (Junior *et al.*, 2022; Mora-López *et al.*, 2023).

O filme B apresentou teor de umidade 16,65%, valor inferior ao observado no filme A, porém com maior variação entre as amostras, a qual pode estar associada à heterogeneidade da matriz polimérica formada por quitosana e colágeno, bem como à reorganização estrutural desses componentes. A presença do colágeno pode influenciar a rede polimérica por meio de interações intermoleculares com a quitosana e o plastificante, promovendo maior compactação da matriz e, consequentemente, reduzindo a disponibilidade de sítios hidrofílicos livres para interação com moléculas de água. Dessa forma, a formulação resultou em uma estrutura mais coesa e menos porosa (Hajj *et al*., 2024; Martínez Rodríguez *et al., 2024*; Mora-López *et al*., 2023).

Os filmes C e D apresentaram umidade de 16,65% e 18,17%, respectivamente (Tabela 2). Esses valores assemelham-se ao obtido para o filme B. Esse comportamento pode estar associado à presença da montmorilonita na matriz polimérica, a qual atua como um agente de reforço estrutural devido à sua

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

natureza lamelar e elevada área superficial. A incorporação do argilomineral favorece a formação de interações intermoleculares com a quitosana, como ligações de hidrogênio e interações eletrostáticas, promovendo maior reticulação da rede polimérica (Belghazdis; Hachem, 2022; Tian *et al*., 2024). Essa estrutura reduz os sítios livres para interação com a água do meio de imersão.

### 4.2.2 Solubilidade

É importante averiguar o grau de resistência à água e a capacidade do filme de se manter íntegro após a aplicação do método, pois os filmes deverão apresentar resistência aos possíveis exsudatos de feridas (Ocak, 2018). A Tabela 2 mostra que os filmes A (27,49%) e C (25,85%) obtiveram o menor percentual de solubilização em meio aquoso.

A solubilidade da quitosana está relacionada a muitos fatores tais como: peso molecular, grau de desacetilação, temperatura, pH e a cristalinidade do polímero. A quitosana possui grupos -$NH_2$, aceptores de prótons, tornando-a positivamente carregada e solúvel em meios aquosos ácidos (Aranaz *et al.*, 2021).

Os filmes B e D tiveram os maiores valores de solubilidade, os quais foram 37,46% e 47,73%, respectivamente. Ambos possuíam colágeno em sua composição, o qual, na forma hidrolisada, é altamente solúvel em água.

### 4.2.3 Espessura

O método de preparo dos filmes mostrou-se eficiente, permitindo a obtenção de estruturas com espessura delgada, em função da composição. As formulações A e C apresentaram espessura média de 74,91 µm e 77,41 µm, respectivamente (Tabela 2). No filme A, a maior espessura pode estar relacionada à formação da matriz polimérica da quitosana possivelmente associada à ação do glicerol, que reduz as interações intermoleculares e aumenta o espaçamento entre as cadeias, resultando em uma matriz menos compacta (Martínez Rodríguez *et al., 2024*).

No filme C, a incorporação da montmorilonita pode alterar a organização da matriz polimérica (Ciftci, 2021). Suas características, como alta área de superfície e capacidade de expansão, podem aumentar o volume estrutural e favorecer a formação de aglomerados, contribuindo para a heterogeneidade do material (Trigueiro *et al*., 2024).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

Por sua vez, o filme D apresentou espessura intermediária (61,70 µm), indicando um equilíbrio entre os efeitos do colágeno, que promove maior organização, e da montmorilonita, que tende a aumentar o volume e a irregularidade da matriz (Abdullah *et al*., 2022; Novaes *et al*., 2020; Tarique, Sapuan, Khalina, 2021). Em contrapartida, o filme B apresentou a menor espessura (52,50 µm), o que pode ser atribuído à presença do colágeno, que favorece a formação de uma rede polimérica mais organizada e compacta por meio de interações intermoleculares, resultando também em maior uniformidade estrutural (Mora-López *et al*., 2023).

De modo geral, os resultados demonstram que a espessura dos filmes está diretamente relacionada à composição das formulações e às interações entre seus componentes.

**4.2.4 Intumescimento**

O intumescimento em filmes poliméricos é uma propriedade explicada pela penetração das moléculas de solvente em uma matriz polimérica, que se estende após a interação com o solvente. Como resultado, ocorre a mudança no volume do filme (Metze *et al.*, 2023).

O menor percentual de intumescimento dos filmes A e B, indicados na Tabela 2, pode ser explicado, em parte, pela solubilidade maior dos componentes dessas formulações, pois, parte do colágeno e da quitosana solúveis difundem-se para o meio, reduzindo a massa úmida medida. Por conseguinte, o ganho de massa global é compensado pela perda por dissolução. A capacidade de hidratação está associada a cadeias poliméricas mais curtas, que reduzem o entrelaçamento intermolecular e facilitam a difusão de água pela rede (Assis *et al.*, 2026).

Os filmes C e D dispõem da argila montmorilonita em sua composição e, portanto, resultam em maior capacidade de intumescimento. As duas amostras apresentaram capacidade de retenção de água maior em relação às demais. Esse aumento na capacidade de intumescimento pode ser explicado pela presença de montmorilonita, tornando os filmes mais hidrofílicos, porém mais reticulados pela interação com a argila (Cardoso *et al*., 2024).

**4.2.5 Propriedades mecânicas**

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

Os valores de resistência à tração no ponto de ruptura dos filmes variaram entre 6,53 e 18,93 MPa, demonstrando diferenças significativas no comportamento mecânico das formulações desenvolvidas (Tabela 2). O filme C apresentou o maior valor de resistência mecânica (18,93 MPa), enquanto o filme D apresentou o menor valor (6,53 MPa).

Os resultados indicam que a incorporação da montmorilonita contribuiu para o aumento da resistência mecânica do filme, especialmente na formulação C, composta por quitosana, montmorilonita e glicerol. Esse comportamento pode ser atribuído à interação entre a argila e a matriz polimérica da quitosana, promovendo maior organização estrutural e reforço mecânico do material. Dessa forma, o filme C exibiu maior resistência à tração, indicando elevada capacidade de suportar tensões mecânicas sem ruptura, característica desejável para aplicação em curativos bioativos (Mora-López *et al*., 2023).

Por outro lado, os filmes B e D, que continham colágeno em sua composição, apresentaram redução nos valores de resistência ao ponto de ruptura quando comparados aos filmes sem colágeno. Esse resultado sugere que a incorporação do colágeno promoveu aumento do volume livre entre as cadeias poliméricas, reduzindo as interações intermoleculares com o agente filmogênico principal, a quitosana. A presença simultânea de glicerol e colágeno pode ter intensificado o efeito plastificante do sistema, tornando os filmes mais flexíveis, porém menos resistentes mecanicamente (Santana, 2019).

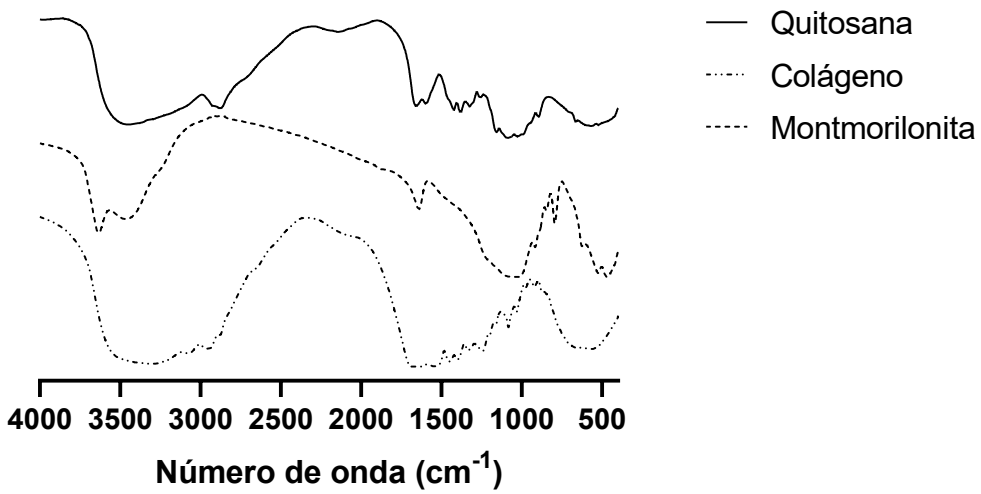
### 4.3 Análise por Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A Figura 6 apresenta os espectros FTIR dos polímeros e argilomineral empregados no preparo dos filmes.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

**Figura 6**: Espectros FTIR de quitosana, colágeno e montmorilonita




**Fonte**: Elaboração própria.

O espectro da quitosana revelou a presença de bandas características que confirmam a sua identidade. Observou-se uma banda larga centrada em aproximadamente 3450 $cm^{-1}$, atribuída às vibrações de estiramento dos grupos hidroxila (O–H) e amina (N–H). Essa região do espectro está relacionada à ocorrência de ligações de hidrogênio, fenômeno típico de polissacarídeos com caráter hidrofílico (El-Araby; El Ghadraoui; Errachidi, 2022; Hérnandez *et al*., 2024).

Na região próxima a 2880 $cm^{-1}$, observa-se uma banda atribuída às vibrações de estiramento das ligações C–H de grupos metil ($–CH_3$) e metileno ($–CH_2$), em concordância com Rafiee *et al*. (2024), que associaram a faixa entre 2850 e 2930 $cm^{-1}$ à presença de estruturas parcialmente acetiladas.

As regiões espectrais associadas aos grupos amida no espectro estão em torno de 1635 $cm^{-1}$, e é atribuída ao estiramento da ligação carbonila (C=O) do grupo N-acetil, conhecida como banda de amida I. Essa absorção está diretamente relacionada ao grau de acetilação residual da amostra, sendo um parâmetro fundamental para a avaliação estrutural do material (Rafiee *et al*., 2024). Por sua vez, a banda localizada em aproximadamente 1580 $cm^{-1}$ é atribuída às vibrações de deformação das ligações N–H, características de grupos amídicos, podendo também estar associada à presença de grupos amino protonados ($–NH_3^+$) (Fathy *et al*., 2018).

A banda em torno de 1250 $cm^{-1}$ está associada às vibrações de estiramento

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

das ligações C–N de grupos amina e amida, conforme reportado por Nishime, Wagner e Kostov (2020). Por sua vez, a banda observada em aproximadamente 1150 $cm^{-1}$ é atribuída ao estiramento assimétrico das ligações C–O–C da ponte glicosídica, sendo considerada um dos principais indicadores estruturais da quitosana (Dziedzic; Kertmen, 2023).

O espectro obtido para o colágeno apresentou bandas de absorção associadas aos principais grupos funcionais do colágeno, especialmente nas regiões correspondentes às amidas A e B, que estão relacionadas às ligações peptídicas presentes na estrutura do colágeno (Makgobole *et al*., 2024). A banda observada em aproximadamente 3333 $cm^{-1}$ está relacionada às vibrações de estiramento N–H, atribuídas aos grupos $NH_2$ presentes em aminas aromáticas, amida A e aminas primárias. Já a amida B foi identificada em 2967 $cm^{-1}$, sendo atribuída ao estiramento simétrico e assimétrico das ligações C–H de grupos $–CH_3$ e $–CH_2–$ em compostos alifáticos (El-Sawah *et al*., 2024).

Além disso, foram identificadas também as bandas características da conformação em tripla hélice dessa proteína: amida I, amida II e amida III. A banda de amida I em 1633 $cm^{-1}$ corresponde principalmente às vibrações de estiramento C=O da cadeia polipeptídica, sendo um importante indicativo da estrutura secundária do colágeno (Nilsuwan *et al*., 2025; Song *et al*., 2019). A banda de amida II em 1467 $cm^{-1}$ está associada às vibrações de flexão N–H e alongamento C–N. Por sua vez, a banda de amida III, próxima de 1333 $cm^{-1}$, envolve vibrações complexas de alongamento C–N e flexão N–H, fornecendo informações adicionais sobre a conformação proteica. Também foi identificada uma banda em aproximadamente 1400 $cm^{-1}$, atribuída às deformações C–H das cadeias laterais da molécula de colágeno (Liu *et al*., 2022; Makgobole *et al*., 2024).

O espectro da montmorilonita mostrou bandas associadas aos grupos hidroxila presentes em sua estrutura, destacando-se a banda observada em aproximadamente 3630 $cm^{-1}$, atribuída à vibração de estiramento dos grupos hidroxila (O–H) localizados na camada octaédrica da argila, especialmente relacionados às ligações Al–OH (Ashiq *et al*., 2019; Kumar; Lingfa, 2020). Essa banda apresenta grande importância na identificação da montmorilonita, uma vez

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

que não é sensível à desidratação, pois associa-se à estrutura cristalina do mineral.

Já a banda observada em 3433 $cm^{-1}$ está relacionada ao estiramento dos grupos hidroxila provenientes da água adsorvida entre as lamelas e das hidroxilas superficiais, podendo sofrer variações conforme o grau de secagem do material. A presença dessas bandas confirma a natureza hidrofílica da montmorilonita e sua elevada capacidade de interação com matrizes poliméricas, favorecendo processos de adsorção, intercalação e formação de ligações de hidrogênio com outros componentes do sistema (Caccamo *et al*., 2020; Xiao *et al*., 2020).

A banda observada em aproximadamente 1630 $cm^{-1}$ pode ser atribuída à vibração de deformação da molécula de água adsorvida entre as lamelas da montmorilonita. A banda observada em aproximadamente 1000 $cm^{-1}$ é atribuída à vibração de estiramento das ligações Si–O. Essa absorção está relacionada às folhas tetraédricas de sílica ($SiO_4$) de argilominerais, confirmando a presença da fase mineral. As bandas observadas em aproximadamente 917 e 844 $cm^{-1}$ podem ser atribuídas às vibrações de flexão dos grupos Al–Al–OH e Al–Mg–OH, respectivamente, sendo características da estrutura octaédrica da montmorilonita (Kumar; Lingfa, 2020; Ashiq *et al*., 2019).

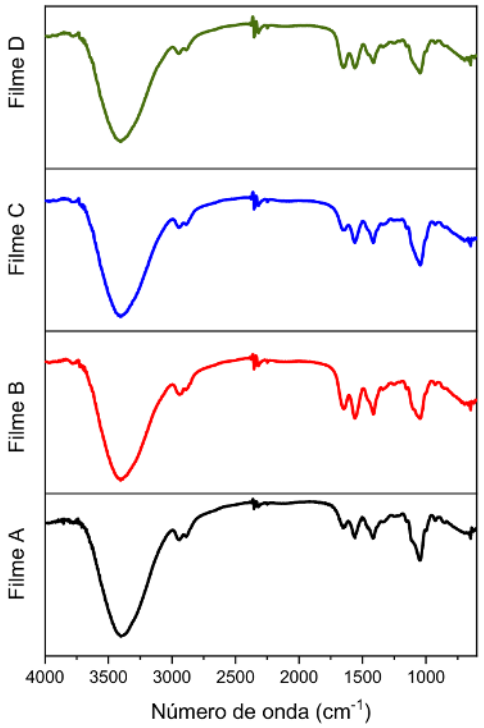
A banda observada em aproximadamente 523 $cm^{-1}$ pode ser atribuída às vibrações de flexão das ligações Al–O–Si, com possíveis contribuições de ligações Mg–O, presentes na folha octaédrica da montmorilonita, sendo característica da estrutura mineral da argila. Além disso, essas bandas de baixa frequência constituem importantes indicadoras da preservação da estrutura inorgânica da montmorilonita, confirmando a integridade da fase mineral (Qin *et al*., 2020; Qiao *et al*., 2020).

Os espectros dos filmes estão representados na Figura 7, que permitiu avaliar as interações entre os componentes presentes nas formulações de cada filme.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

**Figura 7**: Espectros FTIR dos filmes biocompósitos.




Fonte: Elaboração própria.

A banda larga observada em torno de 3417 $cm^{-1}$, está presente nos quatro filmes e está relacionada às vibrações de estiramento dos grupos hidroxila (OH), sobrepostas ao estiramento N–H presente nos grupos amino, sendo atribuída às ligações de hidrogênio intra- e intermoleculares entre os grupos funcionais carboxila, amino e hidroxila dos biopolímeros constituintes, uma vez que são típicas de proteínas e polissacarídeos (Becerra *et al*., 2022; Cazón *et al*., 2021; Andonegi *et al*., 2020; Sánchez-Cid *et al*., 2022). Nos espectros de todos os filmes observou-se deslocamento dessa banda para a direita em relação à quitosana, evidenciando que os insumos interagiram entre si, especialmente nos filmes C e D.

Já as bandas de baixa intensidade, em torno de 2967 e 2900 $cm^{-1}$ correspondem às vibrações assimétrica e simétrica das ligações C–H do grupo $CH_2$ (metileno), respectivamente, relacionadas ao esqueleto carbônico do filme. Esses achados estão em concordância com os resultados reportados por Becerra et al. (2022), Jiang *et al*. (2020) e Kusmono, Wildan e Lubis (2021). Nos filmes C e D nota-se também deslocamento à direita dessas bandas, possivelmente pelas interações intermoleculares dos polímeros entremeados pela montmorilonita.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

As bandas de absorção em 1657 $cm^{-1}$ é associada ao estiramento da carbonila (C=O) e em 1566 $cm^{-1}$ ao grupo –NH, ambos da função amida, presente tanto na quitosana, quanto no colágeno. Observando-se um incremento de sua intensidade nos filmes B e D, onde os dois biopolímeros estão presentes. A banda em 1433 $cm^{-1}$ é atribuída à vibração de flexão II presente nos grupos acetamida (-$NH(CO)-CH_3$) e ao estiramento da ligação –CN da amida III, o qual apresenta maior intensidade no filme B, possivelmente sofrendo interferência da montmorilonita neste ponto de interação nos demais filmes (C e D). As bandas anteriormente descritas são compatíveis com relatos da literatura (Balducci *et al*., 2024; Cardoso *et al*., 2024).

As bandas características da amida I (associada ao C=O em 1667 $cm^{-1}$), amida II (referente à flexão N-H em 1566 $cm^{-1}$) e amida III (vibração de estiramento C-N em 1433 $cm^{-1}$), presentes no filme A, migraram para 1650, 1550 e 1417 cm-1, respectivamente, após a adição de colágeno. Na região de aproximadamente 1050 $cm^{-1}$, observa-se a vibração de estiramento das ligações C–O da quitosana, a qual pode se sobrepor às bandas atribuídas às vibrações Si–O da montmorilonita no filme C, resultando em maior intensidade. No entanto no filme D, esse comportamento não se repete, identificando a interferência do colágeno na interação quitosana-montmorilonita. Essas atribuições espectrais estão em conformidade com resultados descritos em estudos anteriores (Balducci *et al*., 2024; Cardoso *et al*., 2024; Yazdi et al., 2024).

Os deslocamentos foram pouco expressivos, indicando que a interação entre os polímeros é predominantemente física, mediada por ligações de hidrogênio e interações eletrostáticas entre os grupos amino da quitosana e os grupos carboxílicos (COOH−) do colágeno (Assis *et al*., 2026; Devernois; Coradin, 2023).

## 5. Conclusão

De maneira geral, a composição das formulações influenciou diretamente as propriedades dos filmes obtidos. A presença da argila na formulação D contribuiu para o reforço estrutural do filme, enquanto o colágeno proporcionou maior maleabilidade, característica essencial para curativos destinados ao manuseio e adaptação à superfície da pele. A quitosana confirmou seu potencial como excelente

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

material filmogênico, e o glicerol desempenhou adequadamente a função de agente plastificante. Os filmes contendo montmorilonita apresentaram resultados satisfatórios de intumescimento, característica importante para o tratamento de feridas crônicas com exsudato profuso, uma vez que a absorção adequada de fluidos auxilia na remoção do excesso de umidade do meio e na manutenção de condições ideais de hidratação no leito da ferida.

Em relação à solubilidade, os filmes apresentaram valores elevados, especialmente o filme D, o que pode representar uma limitação para uso prolongado do curativo. No entanto, esse aspecto pode ser minimizado por meio de ajustes na formulação. Os resultados obtidos indicam que o filme D apresentou dados promissores para aplicação como filme curativo, demonstrando potencial para atuar como suporte de substâncias ativas voltadas ao tratamento de feridas.

**Agradecimentos**

Agradecemos ao Prof. Dr. Cleânio da Luz Lima pela realização das análises de FTIR, a Ricardo Rodrigues de Sousa Lima pela disponibilização da quitosana e pelo constante apoio durante o desenvolvimento deste trabalho, à Profa. Dra. Marcília Pinheiro da Costa pela realização das análises de espessura e ao Prof. Francisco Mayron de Sousa e Silva pela colaboração nas análises de textura. Estendemos nossa gratidão ao Centro Universitário Santo Agostinho e à Universidade Federal do Piauí pelo apoio institucional, bem como pela infraestrutura e recursos disponibilizados, fundamentais para a execução desta pesquisa.

**Referências**

ABDULLAH, J. A. A.; JIMÉNEZ-ROSADO, M.; BENÍTEZ, J. J.; GUERRERO, A.; ROMERO, A. Biopolymer-Based Films Reinforced with FexOy-Nanoparticles. **Polymers**, [N.p.], vol. 14, no. 21, 1 Nov. 2022. Available at: https://doi.org/10.3390/polym14214487.

AKISANMI, P. Classification of Clay Minerals. **Mineralogy**. [S. l.]: IntechOpen, 2022. DOI 10.5772/intechopen.103841. Disponível em: https://www.intechopen.com/chapters/81885.

ALCÂNTARA, A. V. O.; ABREU, A. A. S.; GONÇALVES, C.; FUCIÑOS, P.; CERQUEIRA, M. A.; GAMA, F. M. P.; PASTRANA, L. M.; RODRIGUES, S.; AZEREDO, H. M. C. Bacterial cellulose/cashew gum films as probiotic carriers. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], vol. 130, 1 ago. 2020.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109699.

AMARI, A.; ALZAHRANI, F. M.; KATUBI, K. M.; ALSAIARI, N. S.; TAHOON, M. A.; REBAH, F. Ben. Clay-polymer nanocomposites: Preparations and utilization for pollutants removal. **Materials**, [s. l.], vol. 14, nº 6, 2 mar. 2021. https://doi.org/10.3390/ma14061365.

ANDONEGI, M.; HERAS, K. Las; SANTOS-VIZCAÍNO, E.; IGARTUA, M.; HERNANDEZ, R. M.; DE LA CABA, K.; GUERRERO, P. Structure-properties relationship of chitosan/collagen films with potential for biomedical applications. **Carbohydrate Polymers**, [N.p.], vol. 237, 1 Jun. 2020. Available at: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116159.

ARANAZ, I.; ALCÁNTARA, A. R.; CIVERA, M. C.; ARIAS, C.; ELORZA, B.; HERAS CABALLERO, A.; ACOSTA, N. Chitosan: An Overview of Its Properties and Applications. **Polymers**, v. 13, n. 19, p. 3256, 24 set. 2021.

ASSIS, M.; NINA NINA, D. G.; SOUSA, K. dos S. J.; BONIFACIO, M.; DE SOUZA, A.; SIMÕES, M. C.; GRANITO, R.; DE OLIVEIRA, F.; RENNÓ, A. C. M. Green Marine Collagen–Chitosan Composites with Biocompatible, Hemostatic, and Pro-Healing Performance. **ACS Applied Bio Materials**, [N.p.], vol. 9, no. 6, pp. 3015–3028, 16 Mar. 2026. Available at: https://doi.org/10.1021/acsabm.5c02493.

ASHIQ, A.; SARKAR, B.; ADASSOORIYA, N.; WALPITA, J.; RAJAPAKSHA, A. U.; OK, Y. S.; VITHANAGE, M. Sorption process of municipal solid waste biochar-montmorillonite composite for ciprofloxacin removal in aqueous media. **Chemosphere**, [N.p.], vol. 236, p. 124384, Dec. 2019. Available at: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124384.

BALDUCCI, C.; ROSO, M.; ZAMUNER, A.; FALCIGNO, L.; D'AURIA, G.; BRUN, P.; DETTIN, M. Multilayer Electrospun Scaffolds of Opposite-Charged Chitosans. **International Journal of Molecular Sciences**, [N.p.], vol. 25, no. 6, p. 3256, 13 Mar. 2024. Available at: https://doi.org/10.3390/ijms25063256.

BARROS, ANA BEATRIZ DE SOUSA. **Degradação térmica em filmes de polietileno reticulados**. 2023. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2021.

BECERRA, J.; RODRIGUEZ, M.; LEAL, D.; NORIS-SUAREZ, K.; GONZALEZ, G. Chitosan-collagen-hydroxyapatite membranes for tissue engineering. **Journal of Materials Science: Materials in Medicine**, [N.p.], vol. 33, no. 2, p. 18, 24 Feb. 2022. Available at: https://doi.org/10.1007/s10856-022-06643-w.

BEKAROĞLU, G. M.; İŞÇI, S. Raw and Purified Clay Minerals for Drug Delivery Applications. **ACS Omega**, [s. l.], vol. 7, nº 43, p. 38825–38831, 1 nov. 2022. https://doi.org/10.1021/acsomega.2c04510.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

BELGHAZDIS, M.; HACHEM, E.-K. Clay and Clay Minerals: A Detailed Review. **International Journal of Recent Technology and Applied Science**, [s. l.], vol. 4, nº 2, p. 54–75, 29 set. 2022. https://doi.org/10.36079/lamintang.ijortas-0402.367.

BEN, Z. Y.; SAMSUDIN, H.; YHAYA, M. F. Glycerol: Its properties, polymer synthesis, and applications in starch based films. **European Polymer Journal**, [N.p.], vol. 175, p. 111377, jul. 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2022.111377.

BERTOLINO, V.; CAVALLARO, G.; MILIOTO, S.; LAZZARA, G. Polysaccharides/Halloysite nanotubes for smart bionanocomposite materials. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], vol. 245, 1 out. 2020. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116502.

BISHNOI, A.; CHANDLA, N. K.; TALWAR, G.; KHATKAR, S. K.; SHARMA, A. Mechanical Strength, Solubility, and Functional Studies of Developed Composite Biopolymeric Film. **Journal of Food Processing and Preservation**, [*N.p.*], vol. 2023, p. 1–19, 8 nov. 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1155/2023/5108490.

CACCAMO, M. T.; MAVILIA, G.; MAVILIA, L.; LOMBARDO, D.; MAGAZÙ, S. Self-assembly processes in hydrated montmorillonite by FTIR investigations. **Materials**, [N.p.], vol. 13, no. 5, 1 Mar. 2020. Available at: https://doi.org/10.3390/ma13051100.

CARDOSO, H. P.; BACALHAU RODRIGUES, J. F.; NUNES DA SILVA, H.; GALDINO, T. P.; LUNA, C. B. B.; FOOK, M. V. L.; MONTAZERIAN, M.; BAINO, F.; DE LIMA SILVA, S. M. Chitosan/montmorillonite nanocomposite film as anticancer drug carrier: A promising biomaterial to treat skin cancers. **Ceramics International**, [N.p.], vol. 50, no. 11, pp. 18528–18539, Jun. 2024. Available at: https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2024.02.337.

CAZÓN, P.; ANTONIEWSKA, A.; RUTKOWSKA, J.; VÁZQUEZ, M. Evaluation of easy-removing antioxidant films of chitosan with Melaleuca alternifolia essential oil. **International Journal of Biological Macromolecules**, [N.p.], vol. 186, pp. 365–376, Sep. 2021. Available at: https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.035.

CIFTCI, H. An Introduction to Montmorillonite Purification. **Montmorillonite Clay**. [N.p.]: IntechOpen, 22 Dec. 2021. Available at: https://doi.org/10.5772/intechopen.98188.

CUPONE, I. E.; SANSONE, A.; MARRA, F.; GIORI, A. M.; JANNINI, E. A. Orodispersible Film (ODF) Platform Based on Maltodextrin for Therapeutical Applications. **Pharmaceutics**, [s. l.], vol. 14, nº 10, p. 2011, 22 set. 2022. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14102011.

DAMATO, A.; VIANELLO, F.; NOVELLI, E.; BALZAN, S.; GIANESELLA, M.;

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

GIARETTA, E.; GABAI, G. Comprehensive Review on the Interactions of Clay Minerals With Animal Physiology and Production. **Frontiers in Veterinary Science**, [s. l.], vol. 9, 10 maio 2022.

DEVERNOIS, E.; CORADIN, T. Synthesis, Characterization and Biological Properties of Type I Collagen–Chitosan Mixed Hydrogels: A Review. **Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)**, vol. 9, no. 7, 1 Jul. 2023. Available at: https://doi.org/10.3390/gels9070518.

DZIEDZIC, I.; KERTMEN, A. Methods of Chitosan Identification: History and Trends. **AMG Transcend Association**, vol. 12, no. 4, 30 Dec. 2023. Available at: https://doi.org/10.33263/LIANBS124.094.

EL-ARABY, A.; EL GHADRAOUI, L.; ERRACHIDI, F. Physicochemical Properties and Functional Characteristics of Ecologically Extracted Shrimp Chitosans with Different Organic Acids during Demineralization Step. **Molecules**, [N.p.], vol. 27, no. 23, 1 Dec. 2022. Available at: https://doi.org/10.3390/molecules27238285.

EL-SAWAH, A. A.; EL-NAGGAR, N. E.-A.; ELDEGLA, H. E.; SOLIMAN, H. M. Green synthesis of collagen nanoparticles by Streptomyces xinghaiensis NEAA-1, statistical optimization, characterization, and evaluation of their anticancer potential. **Scientific Reports**, [N.p.], vol. 14, no. 1, p. 3283, 8 Feb. 2024. Available at: https://doi.org/10.1038/s41598-024-53342-3.

FATHY, M. M.; MOHAMED, F. S.; ELBIALY, N. S.; ELSHEMEY, W. M. Multifunctional Chitosan-Capped Gold Nanoparticles for enhanced cancer chemo-radiotherapy: An invitro study. **Physica Medica**, [N.p.], vol. 48, pp. 76–83, 1 Apr. 2018. Available at: https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2018.04.002.

FERNANDES, E. F. dos S.; AGUIAR, E. S.; LIMA, É. K. A. de; ALVES, K. E. D S.; FARIAS, J. R. de S.; ALMEIDA, Y. B. A. de; ALVES, M. E. R.; SILVA, H. de J. B. D; BRAGA, A. do N. S.; SANTOS, V. B. dos. Argila bentonita: uma breve revisão das propriedades e aplicações. **Research, Society and Development**, [s. l.], vol. 12, nº 2, p. e7912239917, 21 jan. 2023. DOI 10.33448/rsd-v12i2.39917. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/39917.

FRANÇA, D. B.; ALCÂNTARA, A. C. S.; SILVA-FILHO, E. C.; FONSECA, M. G. Polymeric bionanocomposites based on montmorillonite - Materials in continuous interest. **Quimica Nova**, [s. l.], vol. 43, nº 10, p. 1447–1462, 1 dez. 2020. https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170602.

FU, H.; JIAN, X.; PAN, H. Bias in sediment chemical weathering intensity evaluation: A numerical simulation study. **Earth-Science Reviews**, [s. l.], vol. 246, 1 nov. 2023. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104574.

HAHN, S.; HENNECKE, D. What can we learn from biodegradation of natural

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

polymers for regulation? **Environmental Sciences Europe**, [s. l.], vol. 35, nº 1, 1 dez. 2023. https://doi.org/10.1186/s12302-023-00755-y.

HAJJ, W. AL; SALLA, M.; KRAYEM, M.; KHALED, S.; HASSAN, H. F.; KHATIB, S. EL. Hydrolyzed collagen: Exploring its applications in the food and beverage industries and assessing its impact on human health – A comprehensive review. Heliyon, v. 10, n. 16, p. e36433, ago. 2024.

HÉRNANDEZ VÁZQUEZ, C. I.; DRACZYŃSKI, Z.; BORKOWSKI, D.; KAŹMIERCZAK, D. Enhancing Chitosan Fibers: A Dual Approach with Tripolyphosphate and Ursolic Acid. **Polymers**, [N.p.], vol. 16, no. 4, 1 Feb. 2024. Available at: https://doi.org/10.3390/polym16040461.

HOLEŠOVÁ, S.; ČECH BARABASZOVÁ, K.; HUNDÁKOVÁ, M.; KRATOŠOVÁ, G.; KALOČ, V.; JOSZKO, K.; GZIK-ZROSKA, B. Comprehensive study of antimicrobial polycaprolactone/clay nanocomposite films: Preparation, characterization, properties and degradation in simulated body fluid. **Polymer Composites**, [s. l.], vol. 45, nº 10, p. 9280–9298, 10 jul. 2024. https://doi.org/10.1002/pc.28409.

JAFARI, H.; LISTA, A.; SIEKAPEN, M. M.; GHAFFARI-BOHLOULI, P.; NIE, L.; ALIMORADI, H.; SHAVANDI, A. Fish Collagen: Extraction, Characterization, and Applications for Biomaterials Engineering. **Polymers**, [*N.p.*], vol. 12, nº 10, p. 2230, 28 set. 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3390/polym12102230.

JIANG, L.; ZONG, J.; MA, C.; CHEN, S.; LI, H.; ZHANG, D. Characterization of sustained-release chitosan film loaded with rutin-β-cyclodextrin complex and glucoamylase. **Journal of Food Science and Technology**, [N.p.], vol. 57, no. 2, pp. 734–744, 17 Feb. 2020. Available at: https://doi.org/10.1007/s13197-019-04106-9.

JIMÉNEZ, F. V. B; PEÑA-CORONA, S. I.; FARAH, S. J.; JIMÉNEZ-VALDÉS, M. T.; PINEDA-PÉREZ, E.; ROMERO-MONTERO, A.; DEL PRADO-AUDELO, M. L.; BERNAL-CHÁVEZ, S. A.; MAGAÑA, J. J.; LEYVA-GÓMEZ, G. Films for Wound Healing Fabricated Using a Solvent Casting Technique. **Pharmaceutics**, [s. l.], vol. 15, nº 7, 1 jul. 2023. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15071914.

JUNIOR, L. B.; BERTUCI, M. L.; FAKHOURI, F. M.; MARTELLI, S. M. Caracterização e biodegradação de filmes de quitosana e proteína isolada de soja incorporados com nanocristais de celulose / Characterization and biodegradation of chitosan and soy protein isolate films incorporated with cellulose nanocrystals. **Brazilian Journal of Development**, [*N.p.*], vol. 8, nº 3, p. 16681–16718, 8 mar. 2022. Disponível em: https://doi.org/10.34117/bjdv8n3-078.

KATTI, K. S.; JASUJA, H.; JASWANDKAR, S. V.; MOHANTY, S.; KATTI, D. R. Nanoclays in medicine: a new frontier of an ancient medical practice. **Materials Advances**, [s. l.], vol. 3, nº 20, p. 7484–7500, 31 ago. 2022.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

https://doi.org/10.1039/d2ma00528j.

KHUBIEV, O. M.; EGOROV, A. R.; KIRICHUK, A. A.; KHRUSTALEV, V. N.; TSKHOVREBOV, A. G.; KRITCHENKOV, A. S. Chitosan-Based Antibacterial Films for Biomedical and Food Applications. **International Journal of Molecular Sciences**, [s. l.], vol. 24, nº 13, 1 jul. 2023. https://doi.org/10.3390/ijms241310738.

KRAJIŠNIK, D.; USKOKOVIĆ-MARKOVIĆ, S.; DAKOVIĆ, A. Chitosan–Clay Mineral Nanocomposites with Antibacterial Activity for Biomedical Application: Advantages and Future Perspectives. **International Journal of Molecular Sciences**, [s. l.], vol. 25, nº 19, 1 out. 2024. https://doi.org/10.3390/ijms251910377.

KUMAR, A.; LINGFA, P. Sodium bentonite and kaolin clays: Comparative study on their FT-IR, XRF, and XRD. 2020. **Materials Today: Proceedings**. [N.p.]: Elsevier Ltd, 2020. vol. 22, pp. 737–742. Available at: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.10.037.

KUMARI, N.; MOHAN, C. Basics of Clay Minerals and Their Characteristic Properties. **Clay and Clay Minerals**. [S. l.]: IntechOpen, 2021. https://doi.org/10.5772/intechopen.97672.

KULKARNI, P.; MANIYAR, M.; NALAWADE, M.; BHAGWAT, P.; PILLAI, S. Isolation, biochemical characterization, and development of a biodegradable antimicrobial film from Cirrhinus mrigala scale collagen. **Environmental Science and Pollution Research**, [*N.p.*], vol. 29, no. 13, pp. 18840–18850, 26 Mar. 2022. Available at: https://doi.org/10.1007/s11356-021-17108-y.

KUPERKAR, K.; ATANASE, L. I.; BAHADUR, A.; CRIVEI, I. C.; BAHADUR, P.
KUSMONO, K.; WILDAN, M. W.; LUBIS, F. I. Fabrication and Characterization of Chitosan/Cellulose Nanocrystal/Glycerol Bio-Composite Films. **Polymers**, [N.p.], vol. 13, no. 7, p. 1096, 30 Mar. 2021. Available at: https://doi.org/10.3390/polym13071096.

KUSMONO, K.; WILDAN, M. W.; LUBIS, F. I. Fabrication and Characterization of Chitosan/Cellulose Nanocrystal/Glycerol Bio-Composite Films. **Polymers**, [N.p.], vol. 13, no. 7, p. 1096, 30 Mar. 2021. Available at: https://doi.org/10.3390/polym13071096.

KUSNADI, K.; HERDIANA, Y.; ROCHIMA, E.; PUTRA, O. N.; MOHD GAZZALI, A.; MUCHTARIDI, M. Collagen-Based Nanoparticles as Drug Delivery System in Wound Healing Applications. **International Journal of Nanomedicine**, v. Volume 19, p. 11321–11341, nov. 2024.

LIU, Y.; ZHANG, C.; KONG, Y.; LIU, H.; GUO, J.; YANG, H.; DENG, L. Modification of Collagen Film via Surface Grafting of Taurine Molecular to Promote Corneal Nerve Repair and Epithelization Process. **Journal of Functional Biomaterials**,

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

[N.p.], vol. 13, no. 3, p. 98, 17 Jul. 2022. Available at: https://doi.org/10.3390/jfb13030098.

LOPES, A. K. L. C.; CARVALHO, S. do N. de; SOUSA, J. di P. dos S.; MEIRELLES, L. M. A. Desenvolvimento e caracterização de máscaras peel-off à base de atapulgita. **Research, Society and Development**, [*N.p.*], vol. 9, nº 8, p. e397985820, 9 jul. 2020. Disponível em: https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5820.

MACEDO, J. B.; SANFELICE, R. C.; MERCANTE, L. A.; DOS SANTOS, D. M.; HABITZREUTER, F.; CAMPANA-FILHO, S. P.; PAVINATTO, A. Antimicrobial activity of chitosan and its derivatives: influence of its structural characteristics. **Quimica Nova**, [s. l.], vol. 45, nº 6, p. 690–704, 2022. https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170867.

MAKGOBOLE, M. U.; ONWUBU, S. C.; BARUWA, A.; MPOFANA, N.; OBIECHEFU, Z.; NAIDOO, D.; KHATHI, A.; MKHWANAZI, B. Optimization of Collagen Extraction from Fish Scales Using Tris-Glycine Buffer: A Taguchi Methodological Approach. **Marine Drugs**, [N.p.], vol. 22, no. 12, p. 562, 17 Dec. 2024. Available at: https://doi.org/10.3390/md22120562.

MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, T.; VALENTINO, C.; RODRÍGUEZ POZO, F. R.; HERNÁNDEZ BENAVIDES, P.; ARREBOLA VARGAS, F.; PAREDES, J. M.; SAINZ-DÍAZ, C. I.; IGLESIAS, G. R.; ROSSI, S.; SANDRI, G.; MEDINA PÉREZ, M. del M.; AGUZZI, C. Formulative Study and Characterization of Novel Biomaterials Based on Chitosan/Hydrolyzed Collagen Films. **Journal of Functional Biomaterials**, [N.p.], vol. 15, no. 3, 1 Mar. 2024. Available at: https://doi.org/10.3390/jfb15030069.

MD FADILAH, N. I.; SHAHABUDIN, N. A.; MOHD RAZIF, R. A.; SANYAL, A.; GHOSH, A.; BAHARIN, K. I.; AHMAD, H.; MAAROF, M.; MOTTA, A.; FAUZI, M. B. Discovery of bioactive peptides as therapeutic agents for skin wound repair. **Journal of Tissue Engineering**, v. 15, 29 jan. 2024.

MEERA, K.; ARUN, K.; RAMESAN, M. T. Nanochitosan Reinforced Polyvinyl Alcohol/Cashew Gum Bio-blend Nanocomposites: Promising Materials for Future Frontiers. **Journal of Polymers and the Environment**, [N.p.], vol. 31, no. 10, pp. 4487–4505, 16 Oct. 2023. Available at: https://doi.org/10.1007/s10924-023-02909-8.

MELO, F. M.; PEIXOTO, D.; ALEIXO, C.; GONÇALVES, M. B. S.; RAZA, F.; PAWAR, K. D.; VEIGA, F.; LIU, M.; SANTOS, A. C. P. Nanoclays for wound management applications. **Drug Delivery and Translational Research**, [s. l.], vol. 13, nº 4, p. 924–945, 2022. https://doi.org/10.1007/s13346-022-01279-3.

MESQUITA, A. B. D. S; DA SILVA, I. V.; DE FARIAS BRAZ, C. J.; DE CARVALHO, L. H.; BARBOSA, R.; PARANAGUA, J. H. L. F.; ALVES, T. S. Characterization of

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

PHB/Clay Biocomposites Exposed to Degradation in an Aquatic Environment. **Materials Research**, [s. l.], vol. 26, 2023. https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2023-0158.

METZE, F. K.; SANT, S.; MENG, Z.; KLOK, H.-A.; KAUR, K. Swelling-Activated, Soft Mechanochemistry in Polymer Materials. **Langmuir**, [N.p.], vol. 39, no. 10, pp. 3546–3557, 14 Mar. 2023. Available at: https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.2c02801

MOKHTAR, A.; AHMED, A. B.; ASLI, B.; BOUKOUSSA, B.; HACHEMAOUI, M.; SASSI, M.; ABBOUD, M. Recent Advances in Antibacterial Metallic Species Supported on Montmorillonite Clay Mineral: A Review. **Minerals**, [s. l.], vol. 13, nº 10, 1 out. 2023. https://doi.org/10.3390/min13101268.

MORA-LÓPEZ, D. S. DE LA; MADERA-SANTANA, T. J.; LÓPEZ-CERVANTES, J.; SÁNCHEZ-MACHADO, D. I.; AYALA-ZAVALA, J. F.; SOTO-VALDEZ, H. Development and characterization of chitosan-collagen films loaded with honey. Polímeros, v. 33, n. 3, 2023.

MURUGAN, G.; KHAN, A.; NILSUWAN, K.; KIM, J. T.; BENJAKUL, S.; RHIM, J. W. Multi-functional polysaccharides composite film containing cashew and jik leaf carbon dots: Properties and bioactivities. **Applied Food Research**, [s. l.], vol. 4, nº 2, 1 dez. 2024. https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100590.

NILSUWAN, K.; THONGNOI, S.; PRODPRAN, T.; BENJAKUL, S. Properties and Characteristics of Film from Salmon Skin Acid-Soluble Collagen Solution as Influenced by Ultrasonication Process. **Foods**, [N.p.], vol. 14, no. 7, p. 1088, 21 Mar. 2025. Available at: https://doi.org/10.3390/foods14071088.

NISHIME, T. M. C.; WAGNER, R.; KOSTOV, K. G. Study of modified area of polymer samples exposed to a he atmospheric pressure plasma jet using different treatment conditions. **Polymers**, [N.p.], vol. 12, no. 5, 1 May 2020. Available at: https://doi.org/10.3390/POLYM12051028.

NOMICISIO, C.; RUGGERI, M.; BIANCHI, E.; VIGANI, B.; VALENTINO, C.; AGUZZI, C.; VISERAS, C.; ROSSI, S.; SANDRI, G. Natural and Synthetic Clay Minerals in the Pharmaceutical and Biomedical Fields. **Pharmaceutics**, [s. l.], vol. 15, nº 5, 1 maio 2023. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15051368.

NOVAES, J.; DA SILVA FILHO, E. A.; BERNARDO, P. M. F.; YAPUCHURA, E. R. Preparation and characterization of Chitosan/Collagen blends containing silver nanoparticles. **Polimeros**, [N.p.], vol. 30, no. 2, 2020. Available at: https://doi.org/10.1590/0104-1428.00919.

OCAK, B. Film-forming ability of collagen hydrolysate extracted from leather solid wastes with chitosan. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

5, p. 4643–4655, 1 fev. 2018.

OLIVEIRA, M. A.; GONZAGA, M. L. C.; BASTOS, M. S. R.; MAGALHÃES, H. C. R.; BENEVIDES, S. D.; FURTADO, R. F.; ZAMBELLI, R. A.; GARRUTI, D. S. Packaging with cashew gum/gelatin/essential oil for bread: Release potential of the citral. **Food Packaging and Shelf Life**, [s. l.], vol. 23, 1 mar. 2019. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100431.

OLIVEIRA, R. V.; KUMINECK JUNIOR, S. R.; GARCIA, M. C. F.; APATI, G. P.; LEITZKE, T. D. C. G.; SCHNEIDER, A. L. D. S.; PEZZIN, A. P. T. Biodegradable hydrophobic biocomposite based on green banana starch associated with bacterial cellulose. **Revista Materia**, [s. l.], vol. 27, nº 1, 2022. https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2021-49059.

PRASATHKUMAR, M.; SADHASIVAM, S. Chitosan/Hyaluronic acid/Alginate and an assorted polymers loaded with honey, plant, and marine compounds for progressive wound healing—Know-how. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], vol. 186, p. 656–685, set. 2021. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.067.

QIAO, Z.; LIU, Z.; ZHANG, S.; YANG, Y.; WU, Y.; LIU, L.; LIU, Q. Purification of montmorillonite and the influence of the purification method on textural properties. **Applied Clay Science**, [N.p.], vol. 187, 15 Mar. 2020. Available at: https://doi.org/10.1016/j.clay.2020.105491.

QIN, C.; YUAN, X.; XIONG, T.; TAN, Y. Z.; WANG, H. Physicochemical properties, metal availability and bacterial community structure in heavy metal-polluted soil remediated by montmorillonite-based amendments. **Chemosphere**, [N.p.], vol. 261, 1 Dec. 2020. Available at: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128010.

RAFIEE, A.; MOZAFARI, N.; FEKRI, N.; MEMARPOUR, M.; AZADI, A. Preparation and characterization of a nanohydroxyapatite and sodium fluoride loaded chitosan-based in situ forming gel for enamel biomineralization. **Heliyon**, [N.p.], vol. 10, no. 2, 30 Jan. 2024. Available at: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24217.

RAJINIKANTH B, S.; RAJKUMAR, D. S. R.; K, K.; VIJAYARAGAVAN, V. Chitosan-Based Biomaterial in Wound Healing: A Review. **Cureus**, [s. l.], 29 fev. 2024. https://doi.org/10.7759/cureus.55193.

RANI RAJU, N.; SILINA, E.; STUPIN, V.; MANTUROVA, N.; CHIDAMBARAM, S. B.; ACHAR, R. R. Multifunctional and Smart Wound Dressings—A Review on Recent Research Advancements in Skin Regenerative Medicine. **Pharmaceutics**, [s. l.], vol. 14, nº 8, 1 ago. 2022. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14081574.

RICCIO, B. V. F.; SILVESTRE, A. L. P.; MENEGUIN, A. B.; RIBEIRO, T. de C.; KLOSOWSKI, A. B.; FERRARI, P. C.; CHORILLI, M. Exploiting Polymeric Films as

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

a Multipurpose Drug Delivery System: a Review. **AAPS PharmSciTech**, [s. l.], vol. 23, nº 7, p. 269, 28 set. 2022. https://doi.org/10.1208/s12249-022-02414-6.

SALAWI, A. An Insight into Preparatory Methods and Characterization of Orodispersible Film—A Review. **Pharmaceuticals**, [s. l.], vol. 15, nº 7, p. 844, 9 jul. 2022. https://doi.org/10.3390/ph15070844.

SÁNCHEZ-CID, P.; JIMÉNEZ-ROSADO, M.; RUBIO-VALLE, J. F.; ROMERO, A.; OSTOS, F. J.; BENHNIA, R. E. I.; PEREZ-PUYANA, V. Biocompatible and Thermoresistant Hydrogels Based on Collagen and Chitosan. **Polymers**, [N.p.], vol. 14, no. 2, 1 Jan. 2022. Available at: https://doi.org/10.3390/polym14020272.

SANTANA, Julyana Galvão. **Processamento e caracterização de filmes flexíveis e nanocompósitos de EVOH/GO tratados por radiação ionizante**. 2019. 131 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) - Autarquia Associada À Universidade De São Paulo, São Paulo, 2023. Disponível em: www.teses.usp.br.

SATCHANSKA, G.; DAVIDOVA, S.; PETROV, P. D. Natural and Synthetic Polymers for Biomedical and Environmental Applications. **Polymers**, [s. l.], vol. 16, nº 8, 1 abr. 2024. https://doi.org/10.3390/polym16081159.

SEN, C. K.; FRIDAY, A.; KHANNA, S.; ROY, S. **Collagen-Based Products in Wound, Skin, and Health CareAdvances in Wound Care**Mary Ann Liebert Inc. 2025.

SEVERO, A. M. C.; FOOK, M. V. L.; LEITE, I. F. PVA/chitosan hydrogels funcionalized with tea tree oil for application as dressings. **Revista Materia**, [s. l.], vol. 27, nº 1, 2022. https://doi.org/10.1590/S1517-707620220001.1349.

SHEOKAND, B.; VATS, M.; KUMAR, A.; SRIVASTAVA, C. M.; BAHADUR, I.; PATHAK, S. R. Natural polymers used in the dressing materials for wound healing: Past, present and future. **Journal of Polymer Science**, [s. l.], vol. 61, nº 14, p. 1389–1414, 15 jul. 2023. https://doi.org/10.1002/pol.20220734.

SILVA, C. N. S.; CRUZ, M. V.; FERNANDES, K. F.; BATISTA, K. A. Production of anti-inflammatory films based on cashew gum polysaccharide and polyvinyl alcohol for wound dressing applications. **3 Biotech**, [s. l.], vol. 13, nº 9, p. 299, 11 set. 2023. https://doi.org/10.1007/s13205-023-03686-w.

SILVA, M. C. C.; SANTOS, M. S. F.; BEZERRA, R. D. S.; ARAÚJO. J, E. A.; OSAJIMA, J. A.; SANTOS, M. R. M. C.; FONSECA, M. G.; SILVA, F. E. C. Kaolinite/cashew gum bionanocomposite for doxazosin incorporation and its release. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], vol. 161, p. 927–935, 15 out. 2020. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.06.062.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

SIONKOWSKA, A.; MICHALSKA-SIONKOWSKA, M.; WALCZAK, M. Preparation and characterization of collagen/hyaluronic acid/chitosan film crosslinked with dialdehyde starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, [*N.p.*], vol. 149, pp. 290–295, Apr. 2020. Available at: https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.262.

SONG, W.-K.; LIU, D.; SUN, L.-L.; LI, B.-F.; HOU, H. Physicochemical and Biocompatibility Properties of Type I Collagen from the Skin of Nile Tilapia (Oreochromis niloticus) for Biomedical Applications. **Marine Drugs**, [N.p.], vol. 17, no. 3, p. 137, 26 Feb. 2019. Available at: https://doi.org/10.3390/md17030137.

TARIQUE, J.; SAPUAN, S. M.; KHALINA, A. Effect of glycerol plasticizer loading on the physical, mechanical, thermal, and barrier properties of arrowroot (Maranta arundinacea) starch biopolymers. **Scientific Reports**, [N.p.], vol. 11, no. 1, 1 Dec. 2021. Available at: https://doi.org/10.1038/s41598-021-93094-y.

TIAN, G.; WANG, Z.; HUANG, Z.; XIE, Z.; XIA, L.; ZHANG, Y. Clays and Wound Healing. **Materials**, [s. l.], vol. 17, nº 7, 1 abr. 2024. https://doi.org/10.3390/ma17071691.

TRIGUEIRO, P.; PEREIRA, J. P. de L.; FERREIRA, M. G.; SILVA, L. B.; NEVES, L.; PEÑA-GARCIA, R. R. Clay Minerals and Biopolymers in Film Design: Overview of Properties and Applications. **Minerals**, [s. l.], vol. 14, nº 6, 1 jun. 2024. https://doi.org/10.3390/min14060613.

XIAO, F.; YAN, B. qi; ZOU, X. yun; CAO, X. qiang; DONG, L.; LYU, X. jun; LI, L.; QIU, J.; CHEN, P.; HU, S. gang; ZHANG, Q. jian. Study on ionic liquid modified montmorillonite and molecular dynamics simulation. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, [N.p.], vol. 587, 20 Feb. 2020. Available at: https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.124311.

YAN, W.; CHEN, W.; MUHAMMAD, U.; ZHANG, J.; ZHUANG, H.; ZHOU, G. Preparation of α-tocopherol-chitosan nanoparticles/chitosan/montmorillonite film and the antioxidant efficiency on sliced dry-cured ham. **Food Control**, [s. l.], vol. 104, p. 132–138, 1 out. 2019. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.04.026.

YANG, Y.; WANG, X.; LI, Y.; YANG, F.; LIU, X.; WANG, A. Dencichine/palygorskite nanocomposite incorporated chitosan/polyvinylpyrrolidone film for accelerating wound hemostasis. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], vol. 275, p. 133399, ago. 2024. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133399.

YAZDI, J. S.; SALARI, M.; EHRAMPOUSH, M. H.; BAKOUEI, M. Development of active chitosan film containing bacterial cellulose nanofibers and silver nanoparticles for bread packaging. **Food Science & Nutrition**, [N.p.], vol. 12, no. 10, pp. 8186–8199, 23 Oct. 2024. Available at: https://doi.org/10.1002/fsn3.4424.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

**Received:** 25/04/2026 - **Accepted:** 01/06/2026
**Vol**: 13.11
**DOI**: 10.66104/z4pdj670
**Pages:** 1-39

YONG, Q.; XU, D.; LIU, Q.; XIAO, Y.; WEI, D. Advances in polymer-based matte coatings: A review. **Polymers for Advanced Technologies**, [N.p.], vol. 33, nº 1, p. 5–19, 17 jan. 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1002/pat.5508.

YU, R.; ZHANG, H.; GUO, B. Conductive Biomaterials as Bioactive Wound Dressing for Wound Healing and Skin Tissue Engineering. **Nano-Micro Letters**, [s. l.], vol. 14, nº 1, p. 1, 2 dez. 2022. https://doi.org/10.1007/s40820-021-00751-y.

ZHANG, Z.; ZHANG, L.; LI, C.; XIE, X.; LI, G.; HU, Z.; LI, S. Research progress of chitosan-based biomimetic materials. **Marine Drugs**, [s. l.], vol. 19, nº 7, 1 jul. 2021. https://doi.org/10.3390/md19070372.