

## **Biocompósito de Borracha Natural Carregado com Óxido de Zinco Visando Aplicação Biomédica<sup>1</sup>**

**Renata Leme**

Faculdade de Tecnologia José Crespo Gonzales – Fatec Sorocaba, Sorocaba – SP

**RESUMO:** Em busca de novos materiais, este estudo combina as características do látex da borracha natural (NRL) com as propriedades antibactericidas do óxido de zinco (ZnO) para desenvolver um material versátil e eficaz para curativos dérmicos, abordando a sinergia entre esses materiais. O material desenvolvido foi composto por NRL incorporado com ZnO nas concentrações de 2%, 4% e 8%, calculadas sobre a massa do NRL. O ZnO foi incorporado ao NRL através do método de mistura física dos componentes. As propriedades físico-químicas foram analisadas por diferentes métodos experimentais. A Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) não revelou a formação de novos picos após a incorporação de ZnO. A Termogravimetria (TG) mostrou que a estabilidade térmica do material permaneceu inalterada. A Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) indicou que a temperatura de transição vítrea (T<sub>g</sub>) do material não sofreu alteração significativa, embora tenha sugerido uma possível degradação do polímero com a adição de ZnO. O ensaio de liberação demonstrou que amostras com menor concentração de ZnO apresentaram maior liberação do composto, devido à melhor dispersão e distribuição das partículas na superfície, resultando em uma liberação mais eficiente e rápida. Esses resultados indicam o potencial do material desenvolvido para aplicações biomédicas.

**Palavras-chave:** Biomaterial. Látex. Óxido de zinco.

---

<sup>1</sup> Artigo apresentado à Faculdade de Tecnologia José Crespo Gonzales, como parte dos requisitos para o Trabalho de Graduação do Curso Superior de Tecnologia em Polímeros. Sorocaba, mês de junho de 2024.

## Biocomposite of Natural Rubber Loaded with Zinc Oxide for Biomedical Application

**ABSTRACT:** In search of new materials, this study combines the characteristics of natural rubber latex (NRL) with the antibacterial properties of zinc oxide (ZnO) to develop a versatile and effective material for dermal dressings, addressing the synergy between these materials. The developed material consisted of NRL incorporated with ZnO at concentrations of 2%, 4%, and 8%, calculated based on the mass of the NRL. ZnO was incorporated into the NRL through the method of physical mixing of the components. The physicochemical properties were analyzed by different experimental methods. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) did not reveal the formation of new peaks after the incorporation of ZnO. Thermogravimetry (TG) showed that the thermal stability of the material remained unchanged. Differential Scanning Calorimetry (DSC) indicated that the glass transition temperature ( $T_g$ ) of the material did not undergo significant alteration, although it suggested a possible degradation of the polymer with the addition of ZnO. The release test demonstrated that samples with lower ZnO concentration exhibited greater release of the compound, due to better dispersion and distribution of the particles on the surface, resulting in more efficient and rapid release. These results indicate the potential of the developed material for biomedical applications.

**Keywords:** Biomaterial. Latex. Zinc Oxide.

## 1 INTRODUÇÃO

A engenharia tecidual oferece construções inovadoras para o tratamento de uma ampla gama de doenças dermatológicas. A pele é o maior órgão do corpo humano, desempenhando um papel vital de proteção dos órgãos subjacentes contra patógenos e microrganismos. Em casos de lesão cutânea, microrganismos podem infectar o leito ferido e causar septicemia ou infecção crônica se a infiltração dos organismos persistir. A resistência aos antibióticos é a principal causa de infecções crônicas, o que pode levar a dificuldades no tratamento e retardar o processo de cicatrização. Além disso, a presença de microrganismos multirresistentes representa um desafio significativo devido à limitação das opções terapêuticas associadas ao uso de antibióticos (NASERI-NOSAR *et al.*, 2018). O próprio curativo pode ser fonte de contaminação devido ao contato entre ele e a ferida em si, que podem ser áreas onde fluidos corporais são liberados ou acumulados, tornando um meio propício para o crescimento de microrganismos. Outra preocupação é que curativos tradicionais requerem substituições regulares e muitas vezes aderem à área da ferida, ocasionando lesões teciduais secundárias (GUO *et al.*, 2018; NASIRI *et al.*, 2022).

O sucesso clínico na cicatrização de feridas utilizando a NRL é atribuído à capacidade do NRL de ser modificado e de incorporar outros componentes, que pode promover a proliferação celular, sem provocar efeitos citotóxicos nas células de fibroblastos, e por exibir atividade bacteriostática (NASIRI *et al.*, 2022; MADDALOZZO *et al.*, 2022; MARQUES *et al.*, 2024). A engenharia tecidual surge como uma estratégia inovadora na medicina regenerativa, visando restaurar tecidos danificados ou perdidos através da aplicação de materiais funcionais. Assim, os biomateriais têm uma importante função, atuando como matriz extracelular artificial que podem auxiliar na regeneração de tecidos lesionados. Uma característica crucial nesse contexto é a extensibilidade elástica dos curativos, que consiste na propriedade mecânica vital em vários tipos de tecidos. Dessa maneira, consideráveis esforços têm sido dedicados ao progresso de biomateriais elastoméricos que sejam capazes de mimetizar as características dos tecidos humanos (CHEN *et al.*, 2013).

Uma grande variedade de polímeros, incluindo os de fonte natural ou sintética, como a quitosana, colágeno, celulose bacteriana, dentre outras, tem sido explorada no desenvolvimento de curativos dérmicos, visando diversas aplicações biomédicas (BHARADWAZ, JAYASURIYA, 2020; NASIRI *et al.*, 2022). Entre os materiais, se destaca o NRL, o qual é derivado da seringueira *Hevea*

## CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

*brasiliensis*. Sua composição contém cadeias de carbono insaturadas de poliisopreno, com aproximadamente 30-45% em peso de moléculas de borracha (cis-poliisopreno), 4-5% em peso de constituintes não relacionados à borracha, como proteínas, lipídios e carboidratos, além de conter cerca de 50% de água. O látex é conhecido por sua composição rica em compostos bioativos, como proteínas, polissacarídeos, alcaloides e lipídios, que podem ter propriedades terapêuticas e medicinais (BHARADWAZ, JAYASURIYA, 2020; GIMENEZ-DEJOZ *et al.*, 2022; GUERRA *et al.*, 2023; MARQUES *et al.*, 2024). Composto principalmente por micelas de borracha, lipídios, aminoácidos, ácidos nucleicos e proteínas, o látex é um sistema coloidal polifásico (GIMENEZ-DEJOZ *et al.*, 2022; MARQUES *et al.*, 2024).

Estudos recentes têm explorado o potencial do NRL em diversas aplicações médicas. Mendonça *et al.* (2010) demonstraram sua eficácia na cicatrização de feridas cutâneas, acelerando significativamente o processo de cicatrização. Gemeinder *et al.* (2021) desenvolveram um curativo de NRL impregnado com gentamicina, revelando perspectivas promissoras para o tratamento de úlceras de pele infectadas por *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*. Além disso, os estudos como de Asami *et al.*, (2023) investigaram o impacto da purificação do NRL em sua estabilidade e características físico-químicas e biológicas, sugerindo que o NRL diretamente derivado do látex da árvore *Hevea brasiliensis* não exige desproteinização, dependendo da aplicação desejada. As proteínas e lipídios presentes no látex da borracha natural podem ter um efeito positivo em sua estrutura e desempenho em diversas aplicações médicas e de saúde (ASAMI *et al.*, 2023). Apesar dos resultados positivos obtidos pelos trabalhos anteriormente citados, o NRL não apresenta propriedade bactericida e esta seria uma característica a ser incorporada ao mesmo, uma vez que os tecidos lesionados apresentam alto risco de infecções. Portanto, a incorporação de materiais que possuam propriedades bactericidas nas membranas de NRL é vital para minimizar quadros infecciosos (GEMEINDER *et al.*, 2021; GUERRA *et al.*, 2021; MADDALOZZO *et al.*, 2022; MARQUES *et al.*, 2024).

Materiais à base de metais, como partículas de prata, cobre, ouro, paládio, platina e óxido de zinco (ZnO), têm sido amplamente investigados para diversas aplicações biomédicas devido às suas propriedades físicas e químicas únicas, mostrando-se eficazes contra patógenos prioritários e várias bactérias Gram-negativas e Gram-positivas, conforme indicado pela Organização Mundial da Saúde, destacando a importância do desenvolvimento de novos produtos antimicrobianos para prevenir

## CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

infecções em ambientes de saúde (GUERRA *et al.*, 2023; SANCHEZ-LOPES *et al.*, 2020). O óxido de zinco (ZnO) é um composto inorgânico que apresenta propriedades bactericida, anti-inflamatória e antioxidante. É listado como uma substância segura pelo FDA (do inglês Food and Drugs Administration U.S) (JIANG, PI, CAI, 2018) e tem se destacado como uma estratégia promissora para enfrentar a resistência bacteriana a antibióticos, devido à sua eficácia como agente antimicrobiano (MISHRA *et al.*, 2017; NASIRI *et al.*, 2022; MASA *et al.*, 2023). Em geral, é um material com propriedades de perspectivas interessantes para diversas aplicações biomédicas, como para curativo dérmico onde o ZnO pode ser utilizado para tratamento de feridas, prevenindo infecções e promovendo a cicatrização (JIANG, PI, CAI, 2018; GUDKOV *et al.*, 2021; GUERRA *et al.*, 2023; NASIRI *et al.*, 2022).

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo investigar as propriedades resultantes da incorporação de ZnO em membranas de NRL. Dada a falta de pesquisas científicas abordando a sinergia entre esses materiais, o estudo busca desenvolver um material versátil e eficaz, de baixo custo, com potencial aplicação em curativos dérmicos.

### 1.1 Justificativa do tema

O avanço no desenvolvimento de materiais visando aplicações biomédicas é de importância crucial para a sociedade, proporcionando impactos significativos na biomedicina e no desenvolvimento de tratamentos mais eficazes. A busca por alternativas aos materiais convencionais é imperativa, especialmente considerando as limitações associadas aos recursos não renováveis. No contexto da engenharia tecidual, há uma crescente demanda por materiais inovadores capazes de abordar o aumento das doenças, a resistência a antibióticos e a necessidade premente de soluções terapêuticas mais eficientes. Nesse cenário, a exploração de novos biomateriais torna-se fundamental, e diante da lacuna na literatura sobre o desenvolvimento de materiais poliméricos de látex da borracha natural com óxido de zinco, existe uma expectativa promissora de atender, não apenas respostas às demandas existentes, mas também apresentando opções inovadoras para profissionais da saúde e a sociedade em geral.

## CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

### 1.2 Problema de Pesquisa

Considerando a necessidade de identificar e desenvolver novos materiais para aplicações biomédicas que não apenas inovem, mas que também se pautem na sustentabilidade, surge a seguinte indagação: Quais biomateriais podem atender aos desafios enfrentados pela medicina regenerativa, quando se trata de recuperar tecidos lesionados, de forma eficiente e de baixo impacto? Como o desenvolvimento de um biocompósito com polímero natural, envolvendo a borracha natural (NRL) em combinação com óxido de zinco (ZnO), reconhecido por suas propriedades antibacterianas, além de ser um agente seguro, de baixa toxicidade, pode oferecer uma alternativa viável eficaz na engenharia de tecidos para promover tratamentos eficazes, atendendo às demandas da biomedicina, especialmente quando se trata da engenharia tecidual e superando as limitações dos materiais convencionais?

### 1.3 Objetivo Geral

Este trabalho tem o objetivo o estudo e desenvolvimento de um biomaterial multifuncional composto por uma membrana de látex da borracha natural (NRL) como matriz polimérica, incorporada com diferentes concentrações de óxido de zinco (ZnO), para uso na recuperação e cicatrização de lesões dérmicas.

#### 1.3.1 Objetivos Específicos

- a) Avaliar sua viabilidade e eficácia, como alternativa inovadora e sustentável para aplicações biomédicas com ênfase na engenharia tecidual, buscando promover um tratamento eficiente.
- b) Explorar os métodos de formulação, comparando as diferentes concentrações de óxido de zinco (ZnO) na matriz de borracha natural (NRL), que maximizem as propriedades desejadas;
- c) Caracterizar o biocompósito desenvolvido.

## CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

### 1.4 Hipóteses

A combinação do NRL incorporado com óxido de zinco resultará em um biocompósito polimérico, agregando as características de um biopolímero natural somado a um agente com propriedades bactericidas, que favorecem a biocompatibilidade e aplicação na engenharia tecidual. O material apresentará eficácia na prevenção de infecções, superando desafios associados à resistência a antibióticos, devido às propriedades bactericidas do óxido de zinco, integrado ao material. A compatibilidade do biocompósito será comprovado com propriedades físico-químicas, mecânicas e estruturais adequadas à aplicação biomédica, evidenciando sua viabilidade como alternativa aos materiais convencionais. Ao final da pesquisa, será possível confirmar todas as hipóteses anteriores, contribuindo para o avanço do conhecimento científico, fornecendo uma base sólida para o desenvolvimento de materiais biomédicos inovadores e sustentáveis.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Referencial Teórico

#### 2.1.1 Biomaterial polimérico

Biomaterial é o material que entra em contato direto com o sistema biológico e tem como objetivo fazer a interação com o organismo visando o tratamento, cura, avaliação ou ainda a substituição de tecido, órgão ou função do corpo (PIRES *et al.*, 2015; PINA, REIS, OLIVEIRA, 2022). Dentre as espécies de biomateriais estão incluídos metais, cerâmicas, carbono, vidro, biomoléculas modificadas, polímeros e ainda compósitos que são as combinações de vários desses materiais (PIRES *et al.*, 2015; KANNAN, GUOBAO, PETER; 2022). Biomateriais poliméricos são os mais aplicados na medicina, pois tem como vantagem facilidade de produção de várias formas, custo razoável e maior disponibilidade, se comparado aos demais, além de terem propriedades físicas e mecânicas que atendem situações específicas. Podem ser projetados para uma grande gama de utilidades biomédicas, os biomateriais poliméricos desempenham importante papel na medicina, atuando na saúde humana (PIRES *et al.*, 2015; KANNAN, GUOBAO, PETER, 2022).



## CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

A pesquisa e desenvolvimento de biomateriais poliméricos tem como objetivo alcançar a substituição passiva e permanente de tecidos danificados com propriedades físicas correspondentes e mínima toxicidade. As propriedades de um biomaterial devem ser cuidadosamente definidas durante o seu desenvolvimento, considerando as condições específicas de aplicação. Isso significa que o biomaterial deve ser projetado para atender às demandas do ambiente em que será utilizado, garantindo seu bom desempenho e segurança (PIRES *et al.*, 2015; KANNAN, GUOBAO, PETER, 2022).

Os polímeros são subdivididos em sintéticos e naturais e se destacam quanto aos demais, devido sua diversidade de utilização. São muito utilizados em composição a instrumentos médicos como curativos, *scaffolds* (suportes para crescimento celular), sistema de liberação de fármacos, dispositivos extracorpóreos, agentes encapsulantes (BUENO *et al.*, 2015).

Os polímeros naturais, como o látex da borracha natural, são de grande interesse para a área médica, sendo utilizados na medicina regenerativa. A engenharia de tecidos os utiliza biopolímeros para auxiliar no tratamento de feridas e tecidos lesionados, desde que atendam a funcionalidades e características específicas como pH apropriado, umidade, conduzir a um bom ambiente antibacteriano (TARRAHI *et al.*, 2022; AYCAN, ALEMDAR, 2018). A combinação de biomateriais com moléculas ativas abre novas possibilidades para o desenvolvimento de sistemas terapêuticos inovadores na regeneração de tecidos. As moléculas ativas podem ser incorporadas no biomaterial ou encapsuladas em seu interior, liberando-se de forma controlada no local desejado. Essa estratégia permite modular a resposta biológica do organismo, promovendo a proliferação celular, a diferenciação tecidual e a angiogênese, elementos essenciais para a regeneração eficaz (BUENO *et al.*, 2015; PIRES *et al.*, 2015; PINA, REIS, OLIVEIRA, 2022).

### 2.1.2 Látex da Borracha Natural

O látex da borracha natural (NRL) é um dos pilares econômicos de vários países. A partir desse polímero natural podem ser preparados diversos produtos, muitos deles utilizados na indústria da saúde. O NRL é um polímero biodegradável e biocompatível, extraído da seiva da seringueira (*Hevea brasiliensis*). O látex é utilizado na fabricação de diversos produtos, como luvas, preservativos, balões, cateteres, sondas, drenos, entre outros (GUERRA *et al.*, 2021; NAIR, 2021).



## CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

Para a obtenção do NRL da árvore, os vasos presentes em sua casca são abertos por meio de um processo conhecido como “*tapping*”, no qual uma fina lasca de casca (cerca de 1,0 mm de espessura) é retirada até uma profundidade bem próxima ao câmbio. O látex está nos vasos a uma alta pressão hidrostática (aproximadamente 1,0 a 1,9 MPa), que é chamada de turgor. O turgor atinge seu máximo antes do nascer do sol, portanto, a extração precisa ser iniciada ao amanhecer para obter um melhor rendimento de NRL. Este líquido leitoso fluirá por várias horas até que os vasos formem um coágulo. Caso seja necessário reabrir no dia seguinte, o látex flui novamente (NAIR, 2021).

As partículas de borracha são os constituintes mais importantes do NRL e são feitas com uma monocamada de lipídios e proteínas envolvendo um núcleo hidrofílico de cadeias poli (*cis*-1,4-*isopreno*), possuindo cadeias poliméricas compostas por um grupo iniciador (chamado  $\omega$ ), duas unidades poli (*trans*-1,4-*isopreno*), unidades sucessivas de poli (*cis*-1,4-*isopreno*), e um grupo final (chamado  $\alpha$ ). Os lipídios e proteínas, por sua vez, têm uma função essencial para garantir que as partículas de látex sejam estáveis. O segundo constituinte mais abundante é o C-soro, que concentra tudo o que compõe o NRL. As partículas lutóides são constituídas por uma bicamada de moléculas lipídicas que circundam um núcleo hidrofílico feito de soro B, que é um desestabilizador do hidrocarboneto de borracha. O soro B é rico em diversas enzimas, e a maior proteína encontrada nas partículas lutóides é a heveína. As partículas de *Frey-Wyssling*, o constituinte menor, são amareladas e possuem estrutura complexa, que desempenha algumas atividades bioquímicas importantes, com possíveis locais de biossíntese da borracha (LEUNG *et al.*, 2013; BOTTIER, 2020; GUERRA *et al.*, 2021).

Todos os compostos químicos presentes no NRL podem influenciar as suas atividades biológicas e ter alguma importância em termos das suas propriedades. Já foi comprovado que vários dos componentes presentes na estrutura do NRL estimulam a angiogênese, a adesão celular e a formação de matriz extracelular, promovendo a substituição e regeneração tecidual (HERCULANO *et al.*, 2011).

### 2.1.3 Óxido de zinco

O óxido de zinco (ZnO) é um composto inorgânico, constituído de um pó branco, insolúvel em água e na maioria dos álcoois, muito estável a altas temperaturas, absorve a radiação ultravioleta

## CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

(UV). É um material que apresenta propriedades como atividade antibacteriana, antifúngica, anti-inflamatória, antioxidante, fotocatalítica e piezoelétrica. Essas propriedades tornam o ZnO um material promissor para diversas aplicações biomédicas, como curativos, implantes e outros. Como curativo dérmico, pode ser utilizado para tratamento de feridas, possuindo propriedades antibacterianas e anti-inflamatórias que ajudam a prevenir infecções e promover a cicatrização. Em geral, é um material para fabricação de dispositivos médicos, como cateteres e *stents*, pois apresenta propriedades antibacterianas e antioxidantes que ajudam a prevenir infecções e danos aos tecidos (NOGUEIRA *et al.*, 2016; GUERRA *et al.*, 2023).

Atualmente, o ZnO é usado como agente antibacteriano inespecífico contra uma ampla gama de microrganismos, devido à atividade antimicrobiana bem detalhada contra bactérias Gram-negativas, como *Escherichia coli* e *Salmonella*, e bactérias Gram-positivas, como *Staphylococcus aureus* e *Listeria monocytogenes*, estas partículas podem ser usadas como coadjuvante ou substituto de antibióticos comuns para combater resistência bacteriana, principalmente no grupo das bactérias Gram-negativas, por serem mais patogênicas em sua suscetibilidade aos antibióticos (GEMEINDER *et al.*, 2021; PUSHPALATHA *et al.*, 2022). É ainda conhecido como material biomédico não tóxico e biocompatível com células humanas, uma vantagem na utilização de óxidos inorgânicos como agentes antimicrobianos é a presença de elementos minerais essenciais para os seres humanos, combinada com sua capacidade de exibir atividade antimicrobiana robusta mesmo em doses reduzidas. (PASQUET *et al.*, 2014; CHEN *et al.*, 2019). É responsável por acelerar a taxa de cicatrização de feridas, uma vez que o zinco é um importante oligoelemento encontrado nos músculos, ossos e pele. Em comparação com outras partículas de óxidos metálicos, o ZnO é barato e tem baixa toxicidade (GUDKOV *et al.*, 2021; PUSHPALATHA *et al.*, 2022; JIANG, PI, CAI, 2018).

## 2.2 Materiais e métodos

### 2.2.1. Materiais

Látex de borracha natural que foi doado pela empresa Látex São Roque Ltda., clorofórmio P.A (Synth) e óxido de zinco (ZnO) P.A (Synth), em pó, com peso molecular 81,38.

## CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

### 2.2.2. Métodos

Inicialmente o NRL foi solubilizado em clorofórmio na concentração de 10% (massa/volume). Em seguida, foram preparadas três soluções de NRL com 2%, 4% e 8% de ZnO (massa/massa) e mantidas sob agitação constante até completa homogeneização do látex. Após o período de 48 horas, as soluções foram vertidas em moldes de teflon. As amostras foram secas à temperatura ambiente até a completa evaporação do solvente por 48 horas.

#### 2.2.2.1 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros de infravermelho foram obtidos em um equipamento Perkin Elmer, modelo Spectrum 65, com modo ATR, faixa de  $4000\text{ cm}^{-1}$  a  $500\text{ cm}^{-1}$ , resolução de  $4\text{ cm}^{-1}$  e 32 varreduras.

#### 2.2.2.2 Termogravimetria (TG)

A análise foi realizada em um equipamento da empresa TA Instruments, modelo Discovery TGA 55. Amostras das membranas com massa de aproximadamente 5 mg foram submetidas ao aquecimento de 25 até 500 °C, à uma razão de aquecimento de 10 °C/min e sob atmosfera de nitrogênio.

#### 2.2.2.3 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

As análises foram realizadas em equipamento TA Instruments, modelo Discovery DSC 25. As amostras com massa de aproximadamente 5 mg foram depositadas e seladas hermeticamente em porta amostras de alumínio. As amostras foram aquecidas de 25 °C até 150 °C, seguida por uma isoterma de 1 minuto, com posterior resfriamento até -85 °C e isoterma de 1 minuto. Após este tempo, um novo aquecimento até 300 °C foi realizado. A taxa de aquecimento utilizado em toda a análise foi de 10 °C/min sob atmosfera de nitrogênio com vazão de 250 mL/minuto.

#### 2.2.2.4 Ensaio de Liberação

O ensaio de liberação *in vitro* foi realizado em triplicata usando amostras das membranas de NRL incorporadas com 2%, 4% e 8% de ZnO (área de 1cm<sup>2</sup>). As amostras foram imersas em tubos Falcon com 6 mL de solução tampão fosfato-salino (PBS) 0,01M e mantidas a 36 °C em banho termostático. Em seguida, alíquotas de 3mL foram coletadas inicialmente em intervalos de tempo pré-determinados até completar 265 horas de ensaio. A quantidade retirada em cada alíquota foi repostada com solução de PBS após cada coleta. As amostras coletadas foram analisadas em um espectrofotômetro UV-Vis da marca Femto, modelo 800 XI, no comprimento de onda de 224 nm. A partir da absorbância obtida para cada amostra, calculou-se a quantidade de ZnO liberada em cada intervalo de tempo. Para este cálculo, utilizou-se uma curva de calibração obtida através da diluição seriada de uma solução ZnO.

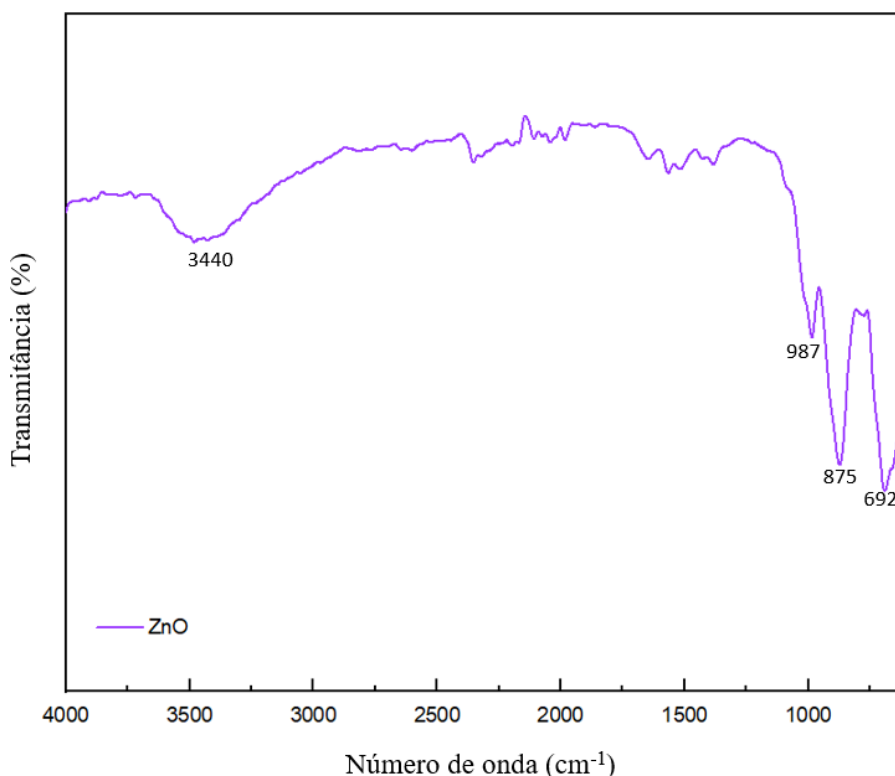
### 2.3 Resultados e Discussão

#### 2.3.1 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

O espectro de FTIR correspondente a amostra de ZnO é apresentado na Fig. 1.

**Figura 1.** Espectro de FTIR do ZnO.

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

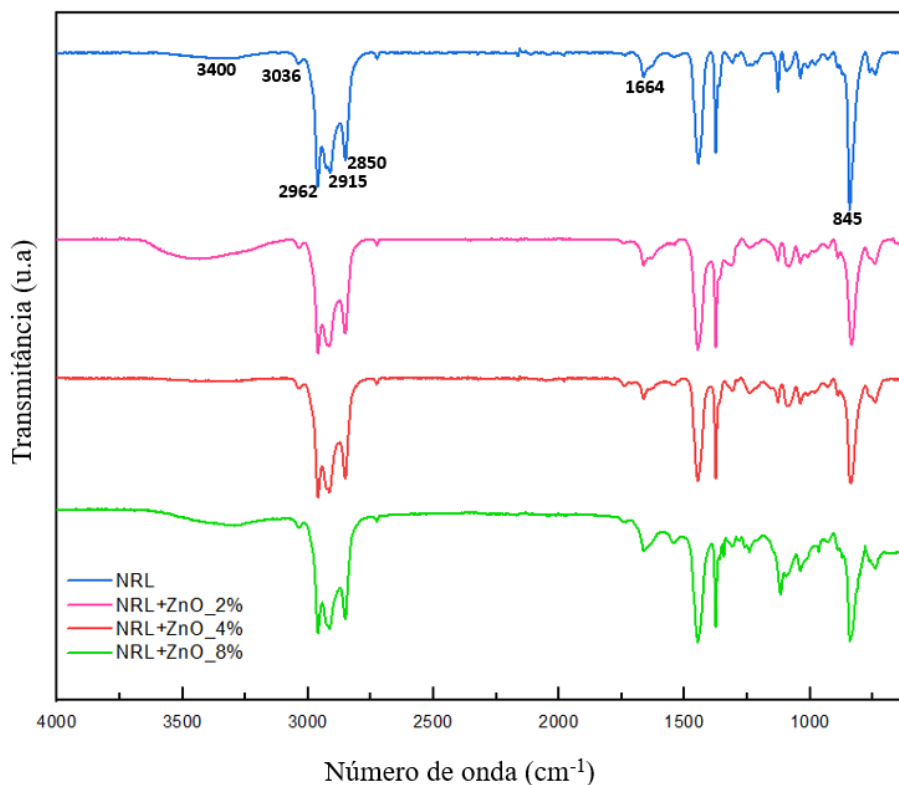


Os óxidos metálicos costumam exibir picos de absorção localizados na região das impressões digitais, evidenciados por números de onda inferiores a  $1000\text{ cm}^{-1}$ , resultantes de oscilações entre átomos adjacentes (CHAUDHARI, KALE, 2017). Deste modo, o espectro de FTIR do ZnO revelou o aparecimento de picos em 987, 875 e  $692\text{ cm}^{-1}$ , associados a picos característicos da ligação Zn-O (KHAN, NAQVI AND HAMMED, 2015; MASA *et al.*, 2023). A presença do pico em  $3440\text{ cm}^{-1}$  foi associada ao estiramento do grupo O-H, indicando a presença de água adsorvida na superfície ou grupos hidroxila das amostras (KHAN, NAQVI AND HAMMED, 2015; MASA *et al.*, 2023).

O espectro FTIR correspondente às amostras de NRL e NRL incorporadas com diferentes concentrações de ZnO (2%, 4% e 8%) são apresentados na Fig. 2.

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

Figura 2. Espectro de FTIR da NRL e da NRL incorporada com ZnO (2%, 4% e 8%).



O espectro de FTIR da NRL revelou picos característicos em 3036, 2962, 2915, 2850  $\text{cm}^{-1}$  atribuídos aos estiramentos das ligações C-H. Por outro lado, os picos presentes em 1664 e 845  $\text{cm}^{-1}$  foram associados a estiramento das ligações C=C e vibração fora do plano =CH de cis-1,4 da estrutura isoprênica, respectivamente (ASAMI *et al.*, 2023; MENG *et al.*, 2024). Contudo, além das bandas isoprênicas, um pico largo foi observado em 3400  $\text{cm}^{-1}$ , associado a estiramento OH/NH. (ASAMI *et al.*, 2023; QUEVEDO *et al.*, 2023).

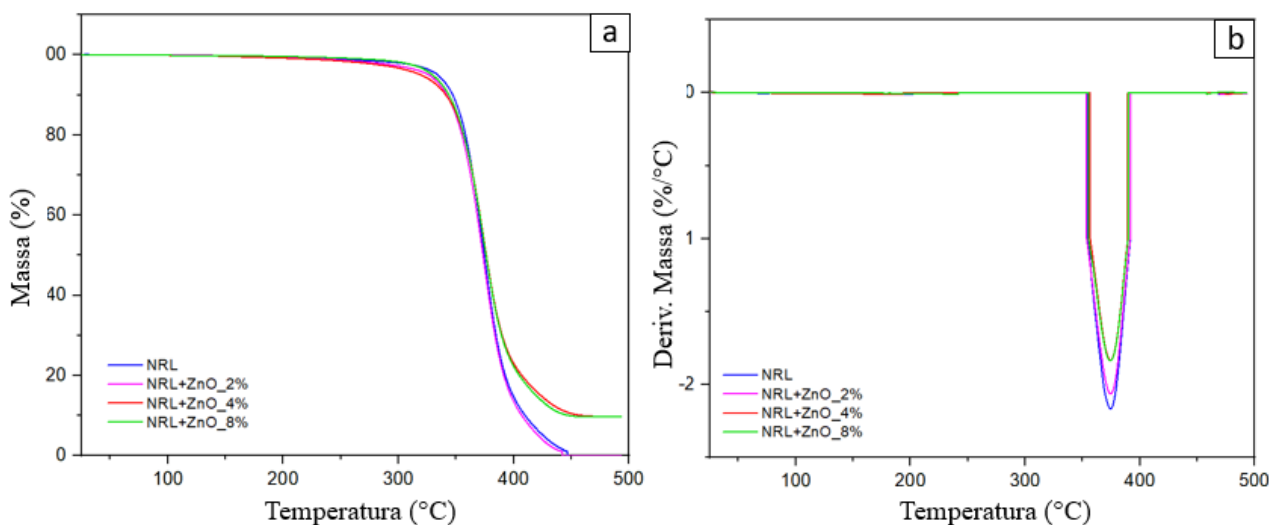
As amostras compostas por NRL incorporadas com diferentes concentrações de ZnO (2%, 4% e 8%), apresentaram os mesmos picos característicos da estrutura isoprênica de NRL sem adição de ZnO. Não foram observadas a formação de novos picos após a incorporação de ZnO nas proporções propostas no trabalho, sugerindo que não houve interação química entre eles. Essa condição contribui para a aplicação proposta, uma vez que o ZnO deve ser liberado meio lesionado (KOMATSU *et al.*, 2017).

## CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

### 2.3.2 Termogravimetria (TG)

As curvas termogravimétricas e as curvas DTG do NRL puro e com ZnO (2%, 4% e 8%) são apresentadas na Fig. 3a e b, respectivamente.

**Figura 3.** Curvas termogravimétricas (a) e curvas DTG (b) do NRL puro e com ZnO (2%, 4% e 8%).



Conforme observado nas curvas de TG (Figura 3a) e DTG (Figura 3b), todas as amostras exibiram um único evento térmico associado a perda de massa. A temperatura de início de perda de massa ( $T_{\text{onset}}$ ) ocorreu em aproximadamente 350 °C com término ( $T_{\text{endset}}$ ) em torno de 410 °C para todas as amostras. As amostras de NRL+ZnO (2%, 4% e 8%) exibiram um percentual de perda de massa de 99%, 90% e 90%, respectivamente. Este evento térmico observado foi atribuído à degradação de NRL (MASA *et al.*, 2023).

O pico de DTG (Figura 3b), apresentou uma temperatura onde a degradação foi máxima ( $T_{\text{max}}$ ) em 375°C. A DTG exibiu uma redução gradativa da intensidade dos picos das amostras de NRL incorporadas com 2%, 4% e 8% de ZnO em relação a amostra de NRL pura. Em comparação com as demais amostras, as amostras de NRL incorporado com 4% (NRL+ZnO\_4%) e 8% de ZnO (NRL+ZnO\_8%) apresentaram menor intensidade de pico. Este comportamento pode estar associado a maior estabilidade térmica do material, uma vez que quanto menor a intensidade do pico da curva



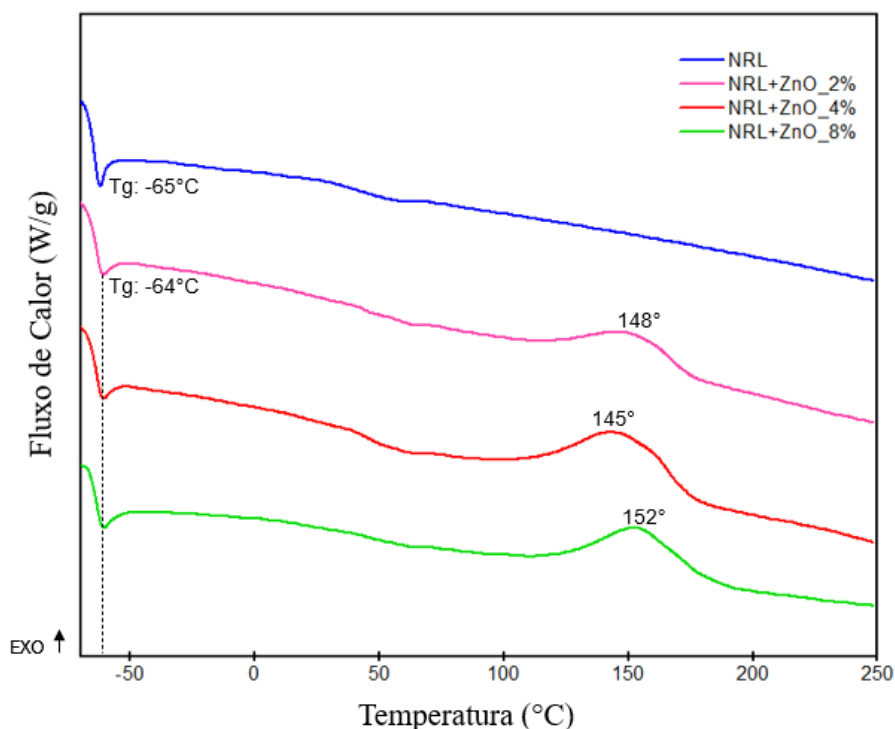
## CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

DTG mais lento é o processo de degradação do material analisado (QUEVEDO *et al.*, 2023; MASA *et al.*, 2023; KRAINOI *et al.*, 2023).

### 2.3.3 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

As curvas de DSC do látex da borracha natural pura (NRL), bem como da NRL com ZnO (2%, 4% e 8%) são apresentadas na Fig. 4.

**Figura 4.** Curvas de DSC da NRL pura e NRL com diferentes concentrações de ZnO (2%, 4% e 8%).



Conforme observado na segunda rampa de aquecimento, todas as amostras analisadas apresentaram praticamente o mesmo valor de temperatura de transição vítrea (Tg). Deste modo, NRL apresentou Tg em -65°C, característico da estrutura amorfa de NRL (QUEVEDO *et al.*, 2023; ASAMI *et al.*, 2023) e as amostras de NRL incorporadas com 2%, 4% e 8% de ZnO apresentaram um valor de Tg de -64 °C. Conforme observado, a incorporação de ZnO praticamente não alterou o valor da Tg quando comparado à amostra de NRL pura. Contudo, também foram identificados o aparecimento de um único evento exotérmico nas amostras de NRL com 2%, 4% e 8%, cujos valores 148°C, 145°C

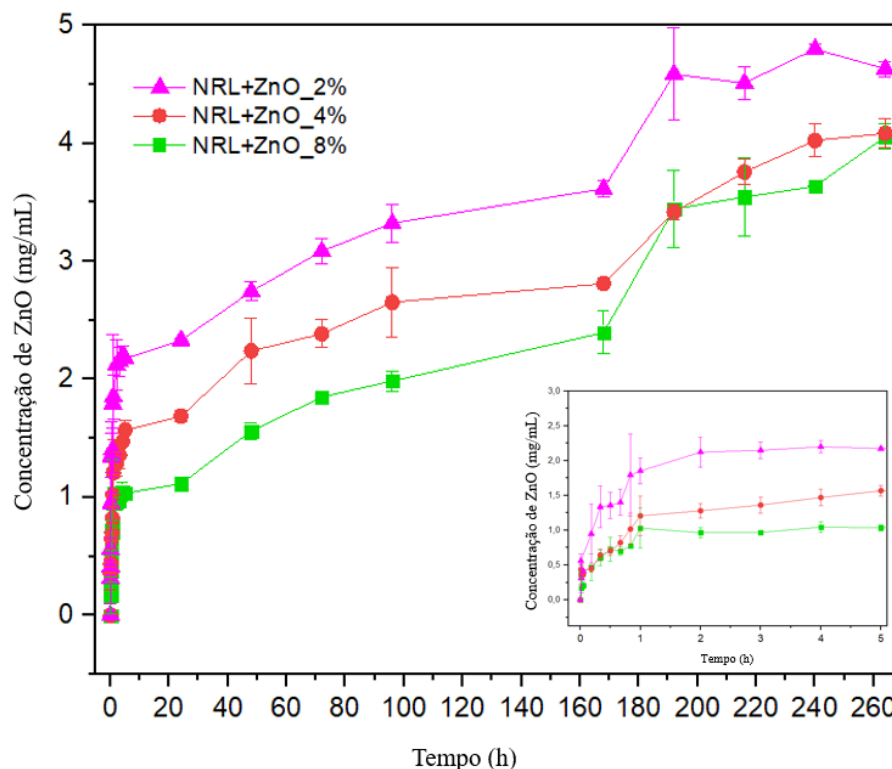
## CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

e 152°C, respectivamente. Os eventos observados sugerem que o ZnO incorporado à NRL pode ter influenciado a degradação da mesma. Isso acontece, pois a presença de metais e compostos metálicos pode acelerar a degradação da borracha, uma vez que os resíduos de íons metálicos presentes no ZnO podem catalisar a degradação do polímero (VALADEZ-GONZALEZ, CERVANTES-UC, VELEVA, 1999; YUE *et al.*, 2024).

### 2.3.4 Ensaio de liberação

O perfil de liberação *in vitro* das amostras de NRL incorporadas com 2%, 4% e 8% de ZnO foram analisadas por espectroscopia de UV-visível e são apresentadas na Fig. 5.

**Figura 5.** Perfil de liberação das amostras de NRL incorporadas com 2%, 4% e 8% de ZnO.



Os resultados da Fig. 5 mostram que a liberação de ZnO na matriz polimérica de NRL ocorre de maneira semelhante em todas as concentrações de ZnO. Inicialmente, todas as membranas apresentam uma fase de liberação de burst (conforme mostrado no gráfico inserido), que representa a liberação inicial rápida, seguido por uma fase de liberação mais lenta e sustentada. O efeito burst

## CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

pode ocorrer devido à presença de partículas de ZnO na superfície da membrana ou em regiões de fácil acesso, as quais são rapidamente liberadas quando a membrana entra em contato com o meio de liberação (LIEW *et al.*, 2023).

Verificou-se que as membranas de NRL contendo 2%, 4% e 8% de ZnO foram capazes de liberar em até 1 hora, aproximadamente 1,8, 1,2 e 1,0 mg/mL de ZnO, respectivamente. Após esse período ocorreu uma liberação mais gradual em todo período de análise. Com isso, foi possível verificar que a amostra composta por 2% de ZnO (NRL+ZnO\_2%) apresentou o maior perfil de liberação ao longo do ensaio (268 h) em relação às demais amostras (NRL+ZnO\_4% e NRL+ZnO\_8%). Este comportamento pode ter acontecido, no presente trabalho e com as proporções propostas, pois em concentrações menores de ZnO (2%) as partículas tendem a se distribuir e dispersar melhor pela matriz do NRL, ao contrário de altas concentrações (4% e 8%), onde a maior quantidade de ZnO favorece a agregação das partículas, dificultando sua liberação, pois a interação entre as partículas é maior do que entre elas e o líquido. Além disso, a presença de agregados maiores dentro da matriz de NRL, a qual se apresenta densa e com baixo intumescimento, dificulta a liberação dessas partículas maiores para o meio (BARROS *et al.*, 2016). Portanto, esses fenômenos contribuem para que a amostra com 2% de ZnO (NRL+ZnO\_2%) apresente o maior perfil de liberação, em relação as demais amostras, ao longo do ensaio.

### 3. Considerações Finais

Em conclusão, este trabalho investigou as propriedades do biocompósito de látex da borracha natural (NRL) contendo diferentes concentrações em 2%, 4% e 8% de óxido de zinco (ZnO), com o objetivo de desenvolver um material versátil e eficaz para aplicação em curativos dérmicos, evitando também a resistência a antibióticos. Os resultados obtidos sugerem que o biocompósito apresenta características promissoras para aplicações biomédicas. Importante ressaltar que os resultados aqui apresentados se referem às concentrações específicas de ZnO investigadas. Com a análise de Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) foi possível verificar que não houve interação química entre os materiais. As propriedades térmicas foram estudadas por Termogravimetria (TG) onde observou-se que as propriedades do NRL não sofreram alterações, mantendo sua estabilidade térmica em todas as amostras. A Calorimetria Exploratória Diferencial

## CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

(DSC) apresentou que os dados de temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) do material não sofreu alteração, entretanto apresentou comportamento de possível degradação oxidativa. O teste de liberação indicou que a amostra com menor concentração de ZnO foi a que mais liberou essas partículas, sugerindo maior dispersão e distribuição das partículas de ZnO na amostra com 2% (NRL+ZnO\_2%), na metodologia adotada no presente trabalho. Portanto, os resultados indicam que o biocompósito proposto pode ser uma opção promissora para aplicações no tratamento de queimadura de segundo grau, contribuindo para o avanço de materiais eficazes e sustentáveis na área médica.

### 4. Referências

ASAMI, Jessica; QUEVEDO, Bruna V.; SANTOS, Arnaldo R.; GIORONO, Luciana Pastena; KOMATSU, Daniel; DUEK, Eliana Aparecida de Rezende. The impact of non-deproteinization on physicochemical and biological properties of natural rubber latex for biomedical applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 253, Part 2, 126782, 2023.

AYCAN D., ALEMDAR N.; Development of pH-responsive chitosan-based hydrogel modified with bone ash for controlled release of amoxicillin. *Carbohydr. Polym.*, 184 (2018) , pp. 401 – 407

BARROS, Natan Roberto De; MIRANDA, Matheus Carlos Romeiro; BORGES, Felipe Azevedo; MENDONÇA, Ricardo José De; CILLI, Eduardo Maffud; HERCULANO, Rondinelli Donizetti. Oxytocin Sustained Release Using Natural Rubber Latex Membranes. *International Journal Of Peptide Research And Therapeutics*, [S.L.], v. 22, n. 4, p. 435-444, 16 mar. 2016. Springer Science and Business Media LLC. DOI: 10.1007/s10989-016-9523-y.

BOTTIER, C. Biochemical composition of *Hevea brasiliensis* latex: a focus on the content of proteins, lipids, carbohydrates and minerals. In: *Advances in botanical research*. Amsterdã: Elsevier, 2020. pp. 201-237.

BHARADWAZ, Angshuman; JAYASURIYA, Ambalangodage C. Recent trends in the application of widely used natural and synthetic polymer nanocomposites in bone tissue regeneration. *Materials Science and Engineering: C*, v. 110, 110698, 2020.

## CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

BUENO C. Z., VEIGA I. G, SACCTHETIN P. S. C., BELLINI M. Z, MORAES A. M. Biomateriais aplicados ao desenvolvimento de sistemas terapêuticos avançados. Cap. 2 - Aplicações de polissacarídeos para produção de curativos e outros biomateriais. P. 69-76. Imprensa da Universidade de Coimbra, 2015. ISBN: 978-989-26-0880-8.

CHAUDHARI, Prashant & KALE, Pallavi. (2017). Synthesis and characterization of nano zinc peroxide photocatalyst for the removal of brilliant green dye from textile waste water. *International Journal of ChemTech Research*, 10, pp. 477-486.

CHEN, Qizhi; LIANG, Shuling; THOUAS, George A. Elastomeric biomaterials for tissue engineering. *Progress in Polymer Science*, v. 38, Issues 3–4, pp. 584-671, 2013.

CHEN, Y.; LU, W.; GUO, Y.; ZHU, Y.; SONG, Y. Electrospun gelatin fibers surface loaded ZnO particles as a potential biodegradable antibacterial wound dressing. *Nanomaterials*, Basel, v. 9, n. 4, p. 525, 2019.

GEMEINDER, José Lúcio Pádua *et al.* Gentamicin Encapsulated within a Biopolymer for the Treatment of Staphylococcus Aureus and Escherichia Coli Infected Skin Ulcers. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, v. 32, n. 1, 2021, p. 93–111. DOI: 10.1080/09205063.2020.1817667.

GIMENEZ-DEJOZ, J. et al. Computational study of the interaction between  $\alpha$ -terminal groups of natural rubber and L-quebrachitol, one of the main components of natural rubber. *Polym J*, v. 54, 2022, p. 229–233. DOI: 10.1038/s41428-021-00569-w.

GUERRA, N.B. et al. Biomedical applications of natural rubber latex from the rubber tree *Hevea brasiliensis*. *Materials Science and Engineering C*, Amsterdam, v. 126, 2021, p. 112126-112144.

GUERRA, N.B.; BORTOLUZ, J.; BYSTRONSKI, A.R.; MADDALOZZO, A.E.D.; RESTELATTO, D.; ROESCH-ELY, M.; DEVINE, D.M.; GIOVANELA, M.; CRESPO, J.S. Recent Progress on Natural Rubber-Based Materials Containing Metallic and Metal Oxide Nanoparticles: State of the Art and Biomedical Applications. *Compounds* 2023, 3, 310-333. <https://doi.org/10.3390/compounds3020023>

## CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

GUDKOV, S.V. et al. A Mini Review of Antibacterial Properties of ZnO Nanoparticles. *Frontiers in Physics*, Lausanne, v. 9, 2021, p. 641481.

GUO, Y. et al. Anisotropic swelling wound dressings with vertically aligned water absorptive particles. *RSC Advances*, Cambridge, v. 8, n. 15, 2018, p. 8173-8180.

JAHROMI, M.A.M. et al. Smart bandages for monitoring and treatment of chronic wounds. *Small*, Weinheim, v. 14, n. 27, 2018, p. 1703509.

JIANG, Jinhuan; PI, Jiang; CAI, Jiye. *The Advancing of Zinc Oxide Nanoparticles for Biomedical Applications*. 2018. DOI: 10.1155/2018/1062562.

KANNAN R., GUOBAO WEI, PETER X. MA, Chapter 2 - Synthetic polymeric biomaterials for tissue engineering, Editor(s): Aldo R. Boccaccini, Peter X. Ma, Liliana Liverani, In *Woodhead Publishing Series in Biomaterials, Tissue Engineering Using Ceramics and Polymers (Third Edition)*, Woodhead Publishing, 2022, Pages 41-74, ISBN 9780128205082

KHAN, Maryam; NAQVI, Alim Husain; AHMAD, Masood. Comparative study of the cytotoxic and genotoxic potentials of zinc oxide and titanium dioxide nanoparticles. *Toxicology Reports*, v. 2, pp. 765-774, 2015.

KOMATSU, Daniel et al. Development of a membrane of poly (L-co-D, L lactic acid-co-trimethylene carbonate) with aloe vera: an alternative biomaterial designed to improve skin healing. *Journal of biomaterials applications*, v. 32, n. 3, p. 311-320, 2017.

KRAINOI, Apinya; PRASERT, Watcharamon; KESAKOMOL, Piyanate; THONGDEE, Pimwan; NITCHAPHANIT, Sirachat; SUNGSIRIN, Nitchatorn; BOONSIRI, Tanit; WATANAVEERADEJ, Veerachai; OUNJAI, Kajornvut; NAKARAMONTRI, Yeampon. Effect of modified zinc oxide nanoparticles on enhancement of mechanical, thermal and antibacterial properties of disinfectant natural rubber latex foams. *Materials Today Communications*, v. 35, 105601, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.105601>.

LEUNG, Y.H.; NG, A.M.C.; XU, X.; SHEN, Z.; GETINGS, L.A.; WONG, M.T.; CHAN, C.M.N.; GUO, M.Y.; NG, Y.H.; DJURIŠIĆ, A.B. et al. Mechanisms of antibacterial activity of MgO: non-

## CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

ROS-mediated toxicity of MgO nanoparticles to *Escherichia coli*. *Small*, v. 10, n. 6, pp. 1171-1183, 2013.

LIEW, Wen Ching; MUHAMAD, Ida Idayu; CHEW, Jia Wei; ABD KARIM, Khairil Juhanni. Synergistic effect of graphene oxide/zinc oxide nanocomposites on polylactic acid-based active packaging film: Properties, release kinetics and antimicrobial efficiency. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 253, p. 127288, 2023. ISSN 0141-8130.

MADDALOZZO, A.E.D.; FRASSINI, R.; FONTOURA, C.P.; RODRIGUES, M.M.; FROZZA, C.O.S.; FIGUEROA, C.A. et al. Development and characterization of natural rubber latex films with zinc oxide nanoparticles for wound dressing applications. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 138, n. 10, 49901, 2021.

MARQUES, P. A. C.; GUERRA, N. B.; SANTOS, L. S. DOS; MUSSAGY, C. U.; BRASIL, G. S. P.; BURD, B. S.; SU, Y.; SASAKI, J. C. DA S.; SCONTRI, M.; LOPES FILHO, P. E. DE L.; SILVA, G. R.; MIRANDA, M. C. R.; FERREIRA, E. S.; PRIMO, F. L.; FERNANDES, M. A.; CROTTI, A. E. M.; HE, S.; FORSTER, S.; MA, C.; BARROS, N. R. DE; MENDONÇA, R. J. DE; JUCAUD, V.; LI, B.; HERCULANO, R. D.; FLORIANO, J. F. Natural rubber latex-based biomaterials for drug delivery and regenerative medicine: Trends and directions. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 267, Part 2, 131666, 2024.

MASA, Abdulhakim; JEHSOH, Nureeyah; SAIWARI, Sitisaiyidah; DUERAMAE, Sawitree; HAYEEMASAE, Nabil. Microwave-assisted silver-doped zinc oxide towards antibacterial and mechanical performances of natural rubber latex film. *Materials Today Communications*, v. 34, 105475, 2023.

MENDONÇA RJ, MAURÍCIO VB, TEIXEIRA LDE B, LACHAT JJ, COUTINHO-NETTO J. Increased vascular permeability, angiogenesis and wound healing induced by the serum of natural latex of the rubber tree *Hevea brasiliensis*. *Phytother Res*. 2010 May;24(5):764-8. doi: 10.1002/ptr.3043. PMID: 19943314.



## CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

MENG, Liucheng; XI, Jianfeng; BIAN, Huiyang; XIAO, Huining; WU, Weibing. Nanocellulose/natural rubber latex composite film with high barrier and preservation properties. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, v. 37, 101399, 2024.

MISHRA, Pawan K.; MISHRA, Harshita; EKIELSKI, Adam; TALEGAONKAR, Sushama ; VAIDYA, Bhuvaneshwar. Zinc oxide nanoparticles: a promising nanomaterial for biomedical applications, *Drug Discovery Today*, Volume 22, Issue 12, 2017, Pages 1825-1834, ISSN 1359-6446, <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2017.08.006>.

NAIR, K.P. *Culturas de árvores*. Cham: Springer International Publishing, 2021.

NASERI-NOSAR, M.; SALEHI, M.; FARZAMFAR, S.; AZAMI, M. The single and synergistic effects of montmorillonite and curcumin-loaded chitosan microparticles incorporated onto poly (lactic acid) electrospun film on wound-healing. *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*, London, v. 33, n. 3, p. 239-253, 2018.

NASIRI, G.; AZARPIRA, N.; ALIZADEH, A.; ZEBARJAD, S.M.; AMINSHAHIDI, M.; ALAVI, O. et al. Fabrication and evaluation of poly (vinyl alcohol)/gelatin fibrous scaffold containing ZnO nanoparticles for skin tissue engineering applications. *Materials Today Communications*, Amsterdam, v. 33, p. 104476, 2022.

NOGUEIRA, A, L. B. JUSTI, G. ROZZA; J. da SILVA e L. A. D. KOSLOWSKI; Universidade Estadual de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária; Síntese e caracterização de nanopartículas de óxido de zinco para aplicação como agente antibacteriano. 2016.

PASQUET, J.; CHEVALIER, Y.; PELLETIER, J.; COUVAL, E.; BOUVIER, D.; BOLZINGER, M.-A. The contribution of zinc ions to the antimicrobial activity of zinc oxide. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Amsterdam, v. 457, p. 263-274, 2014.

PINA S., REIS R. L., OLIVEIRA J. M., Chapter 3 - Natural polymeric biomaterials for tissue engineering, Editor(s): Aldo R. Boccaccini, Peter X. Ma, Liliana Liverani, In *Woodhead Publishing Series in Biomaterials, Tissue Engineering Using Ceramics and Polymers (Third Edition)*, Woodhead

**CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS**

Publishing, 2022, Pages 75-110, ISBN 9780128205082, DOI: 10.1016/B978-0-12-820508-2.00001-5.

PIRES A. L. R., BIERHALZ A. C. K., MORAES A.M. Biomaterials: types, applications, and Market. *Quim. Nova*, Vol. 38, No. 7, 957-971, 2015. DOI: 10.5935/0100-4042.20150094

PUSHPALATHA C, SURESH J., GAYATHRI VS, SOWMYA SV, AUGUSTINE D., ALAMOUDI A., ZIDANE B., MOHAMMAD A. N. H., PATIL S. Zinc Oxide Nanoparticles: A Review on Its Applications in Dentistry. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, v. 10. 2022. ISSN 2296-4185.

QUEVEDO BV, KOMATSU D, REZENDE M, DUEK EA. Synthesis of epoxidized natural rubber grafted with hyaluronic acid for the development of biomaterials. *Int J Biol Macromol*. 2023 Jul 31;244:125359. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.125359. Epub 2023 Jun 14. PMID: 37321441.

SÁNCHEZ-LÓPEZ E, GOMES D, ESTERUELAS G, BONILLA L, LOPEZ-MACHADO AL, GALINDO R, CANO A, ESPINA M, ETTCHETO M, CAMINS A, SILVA AM, DURAZZO A, SANTINI A, GARCIA ML, SOUTO EB. Metal-Based Nanoparticles as Antimicrobial Agents: An Overview. *Nanomaterials (Basel)*. 2020 Feb 9;10(2):292. doi: 10.3390/nano10020292. PMID: 32050443; PMCID: PMC7075170.

TARRAHI, R., KHATAEE A., KARIMI A., YOON Y.; The latest achievements in plant cellulose-based biomaterials for tissue engineering focusing on skin repair, *Chemosphere*, Volume 288, Part 2, 2022, 132529, ISSN 0045-6535, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.132529.

VALADEZ-GONZALEZ, A.; CERVANTES-UC, J. M.; VELEVA, L. Mineral filler influence on the photo-oxidation of high density polyethylene: I. Accelerated UV chamber exposure test. *Polymer Degradation and Stability*, v. 63, n. 2, p. 253-260, 1999. ISSN 0141-3910. DOI: 10.1016/S0141-3910(98)00102-5

YUE, Qianqian; PENG, Yongfei; LIU, Xingjian; HE, Aihua; NIE, Huarong. Metal deactivator-suppressed degradation of trans-1,4-poly(isoprene-co-butadiene) rubber. *Polymer*, v. 290, 2024, 126505. ISSN 0032-3861. DOI: 10.1016/j.polymer.2023.126505.