



## FILMES BIODEGRADÁVEIS DE NANOCELULOSE E LIGNINA PARA EMBALAGENS INTELIGENTES

Victor Wojdylo Machado<sup>1</sup>  
Érickson Alex de Lima<sup>2</sup>

**Resumo:** A poluição gerada por plásticos sintéticos, principalmente no setor de embalagens, tem impulsionado a busca por materiais mais sustentáveis. Este projeto propõe o desenvolvimento de filmes compósitos e biodegradáveis a partir da combinação de dois materiais: a nanocelulose, que serve como uma base estrutural de alta resistência, e a lignina kraft, um subproduto da indústria de papel com excelentes propriedades antioxidantes e de proteção contra a radiação ultravioleta (UV). O objetivo é criar um material multifuncional que possa ser usado em embalagens ativas e inteligentes. Os filmes serão produzidos pela técnica de *casting*, misturando diferentes concentrações de lignina à base de nanocelulose. A metodologia inclui a análise das propriedades mecânicas, ópticas e funcionais dos filmes. Espera-se que a adição de lignina dê cor aos filmes e melhore a proteção UV e a capacidade antioxidante de acordo com a concentração utilizada, confirmando o potencial deste material como uma alternativa ecológica e de valor agregado para o mercado de embalagens.

**Palavras-chave:** Nanocelulose; Lignina; Embalagens Ativas; Biocompósitos; Sustentabilidade.

**Abstract:** The pollution generated by synthetic plastics, especially in the packaging sector, has driven the search for more sustainable materials. This project proposes the development of biodegradable composite films based on the combination of two materials: nanocellulose, which serves as a high-strength structural matrix, and kraft lignin, a byproduct of the paper industry with excellent antioxidant and ultraviolet (UV) radiation protection properties. The goal is to create a multifunctional material for use in active and smart packaging. The films will be produced using the casting technique, mixing different concentrations of lignin into the nanocellulose base. The methodology includes the analysis of the films' mechanical, optical, and functional properties. It is expected that the addition of lignin will color the films and improve UV protection and antioxidant capacity according to the concentration used, confirming the potential of this material as an eco-friendly, value-added alternative for the packaging market.

**Key-words:** Nanocellulose; Lignin; Active Packaging; Biocomposites; Sustainability.

---

<sup>1</sup>Gradando do curso de Engenharia Química da UNIFATEB, campus Telêmaco Borba – e-mail: <victorwojdylo@outlook.com>.

<sup>2</sup>Professor do curso X, pela UNIFATEB, campus Telêmaco Borba – e-mail: <erickson.lima@unifateb.edu.br >.



## 1. INTRODUÇÃO

O descarte de polímeros sintéticos representa hoje um dos maiores desafios ambientais. A produção em massa e a lenta degradação desses materiais geram uma poluição que se acumula em solos e oceanos. A indústria de embalagens, em particular, é uma grande contribuinte para esse cenário, com alto volume de plásticos de uso único que exigem alternativas urgentes e sustentáveis (OECD, 2022). Como resposta, ganham força os conceitos de economia circular e bioeconomia, que propõem a substituição de materiais de origem fóssil por opções renováveis, biodegradáveis e que valorizem o reaproveitamento de resíduos.

Diante disso, os biopolímeros surgem como uma das alternativas mais promissoras. Entre eles, a celulose é um dos mais estudados. Em escala nanométrica, a nanocelulose apresenta propriedades notáveis, como alta resistência mecânica e excelente função de barreira. Essas qualidades a tornam ideal para o desenvolvimento de embalagens de alto desempenho (TONOLI, 2013).

Para agregar novas funções a essas embalagens e transformá-las em sistemas ativos, que protegem o conteúdo e aumentam sua durabilidade, uma boa estratégia é a incorporação de aditivos. A lignina, um subproduto abundante e de baixo custo da indústria de papel e celulose, aparece como um aditivo natural de grande interesse. Por ter uma estrutura rica em grupos fenólicos, a lignina apresenta uma notável atividade antioxidante e a capacidade de absorver radiação ultravioleta (UV), características muito úteis para proteger alimentos e outros produtos sensíveis à luz e à oxidação (PRADO; SPINACÉ, 2019). Além disso, a lignina pode ser quimicamente modificada para aprimorar suas propriedades, como a atividade antimicrobiana (KUDAKA, 2023).

Este projeto se propõe a estudar a sinergia entre a nanocelulose e a lignina kraft para criar um biocompósito multifuncional. A união desses dois materiais não só permite o desenvolvimento de um filme com melhores propriedades, mas também valoriza um coproduto da indústria de papel, o que está totalmente alinhado aos princípios da sustentabilidade. Pesquisas recentes, como a de Figueiredo (2022), já mostram o sucesso dessa abordagem e o potencial dos filmes de celulose-lignina para embalagens ativas.



## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 2.1.1 A busca por embalagens sustentáveis e inteligentes

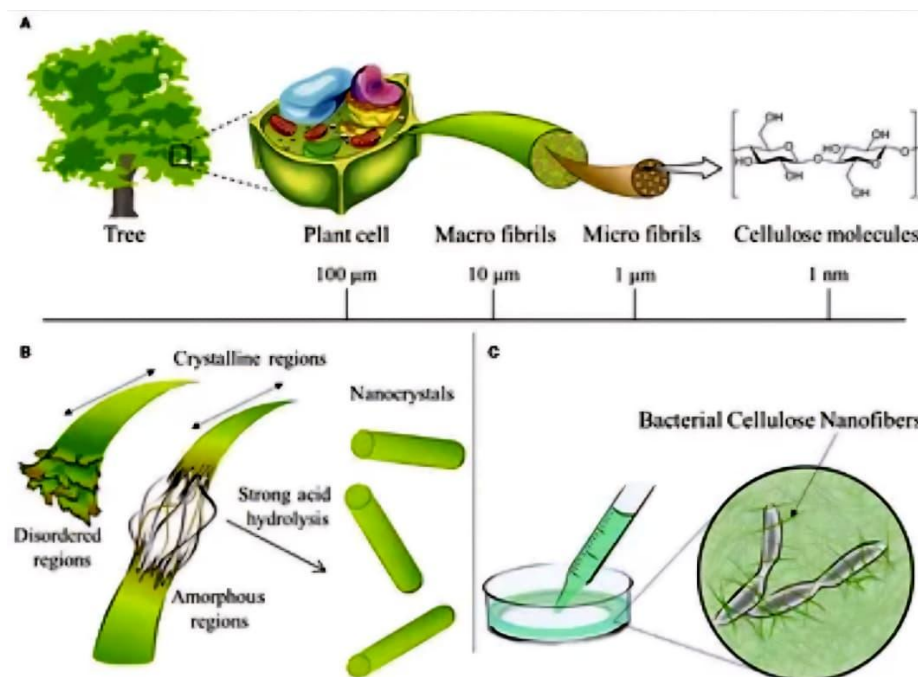
A transição para uma economia de baixo carbono, impulsionada pela pressão social e regulatória, tem transformado o setor de embalagens. O impacto ambiental dos produtos se tornou um fator importante na decisão de compra, aumentando a procura por embalagens sustentáveis (LIMA; BARBOSA, 2021). Nesse cenário, as embalagens ativas e inteligentes são uma grande base de inovação. As ativas interagem com o produto para melhorar sua conservação liberando antioxidantes, enquanto as inteligentes monitoram o estado do produto ou do ambiente ao redor, informando o consumidor (ROBERTSON, 2012). O desenvolvimento desses sistemas com materiais biodegradáveis é, portanto, uma área de pesquisa que une a necessidade de sustentabilidade com mais segurança e qualidade para os produtos.

#### 2.1.2 Nanocelulose: um biopolímero de alta performance

A nanocelulose é um nanomaterial obtido a partir da celulose, dependendo do método de produção, ela pode ser classificada de duas formas principais, nanocristais de celulose (NCC) e nanofibras de celulose (NFC) (BELO *et al.*, 2018). Os nanocristais são o resultado de uma hidrólise ácida que remove as partes amorfas da fibra de celulose, deixando apenas partículas rígidas e cristalinas. Já as nanofibras são produzidas por processos mecânicos de alta pressão, que desfiam a fibra original em uma rede de filamentos longos e flexíveis, que mantêm tanto as partes cristalinas quanto as amorfas (TONOLI *et al.*, 2013). A Figura 1 ilustra essa hierarquia estrutural da celulose até as formas de nanocelulose. A busca por fontes de celulose é tão ampla que pesquisas recentes já demonstram ser possível extrair nanocelulose de resíduos agroindustriais, como a casca do ingá-cipó, o que reforça o potencial da bioeconomia circular (GOMES *et al.*, 2023). Suas propriedades notáveis se referem a alta resistência mecânica, baixa densidade, transparência e biodegradabilidade total, tornando um componente ideal para compósitos e embalagens sustentáveis (SOUZA, *et al.*, 2021).



FIGURA 1 – Estrutura hierárquica da celulose até a nanocelulose (NCC e NFC).



Fonte: Adaptado de Trache *et al.* (2020)

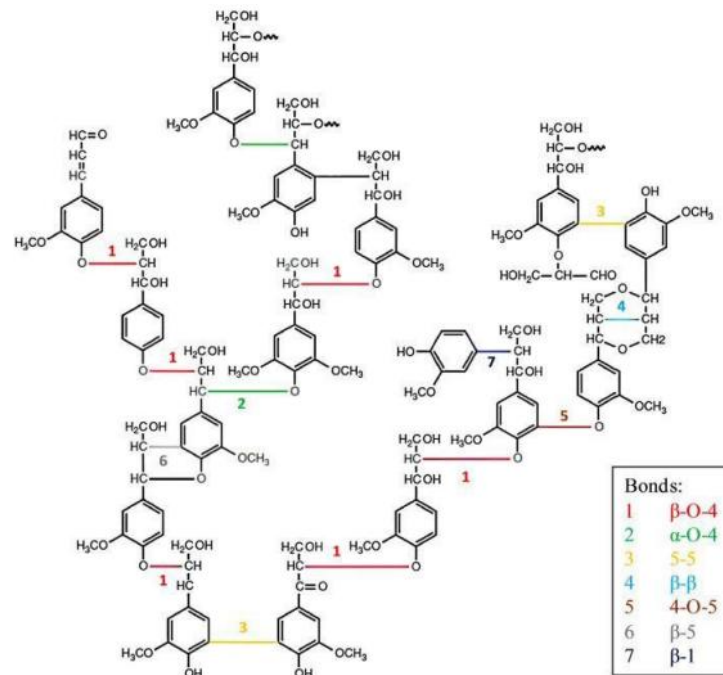
### 2.1.3 Lignina kraft: um aditivo funcional e sustentável

A lignina é um polímero natural, de estrutura complexa e tridimensional, que dá rigidez e protege as paredes celulares das plantas. Ao contrário da celulose, a lignina não tem uma estrutura que se repete de forma regular, o que a torna um material complexo e variável, dependendo da sua origem e de como é extraída (LANGE; CRESTINI, 2018). No processo Kraft, a lignina é separada das fibras se tornando um subproduto gerado em grande volume (PRADO; SPINACÉ, 2019). Sua estrutura, rica em grupos hidroxila fenólicos, é a chave para suas propriedades mais importantes, a capacidade antioxidante, que funciona pela doação de hidrogênio a radicais livres, e a absorção de radiação UV, garantida pelos anéis aromáticos que agem como um protetor solar natural (GARCIA *et al.*, 2018). Um exemplo dessa complexidade estrutural, que fundamenta suas funcionalidades, pode ser observado na Figura 2, que apresenta um esquema estrutural da lignina. O uso de matérias-primas que possui um baixo teor natural de lignina pode facilitar o processo industrial e gerar uma lignina com características interessantes para novas aplicações



(MARINHO *et al.*, 2017).

FIGURA 2: Esquema estrutural proposto para a lignina da madeira de *Eucalyptus grandis*.



Fonte: Adaptado de Lima (2022).

#### 2.1.4 Sinergia entre nanocelulose e lignina kraft

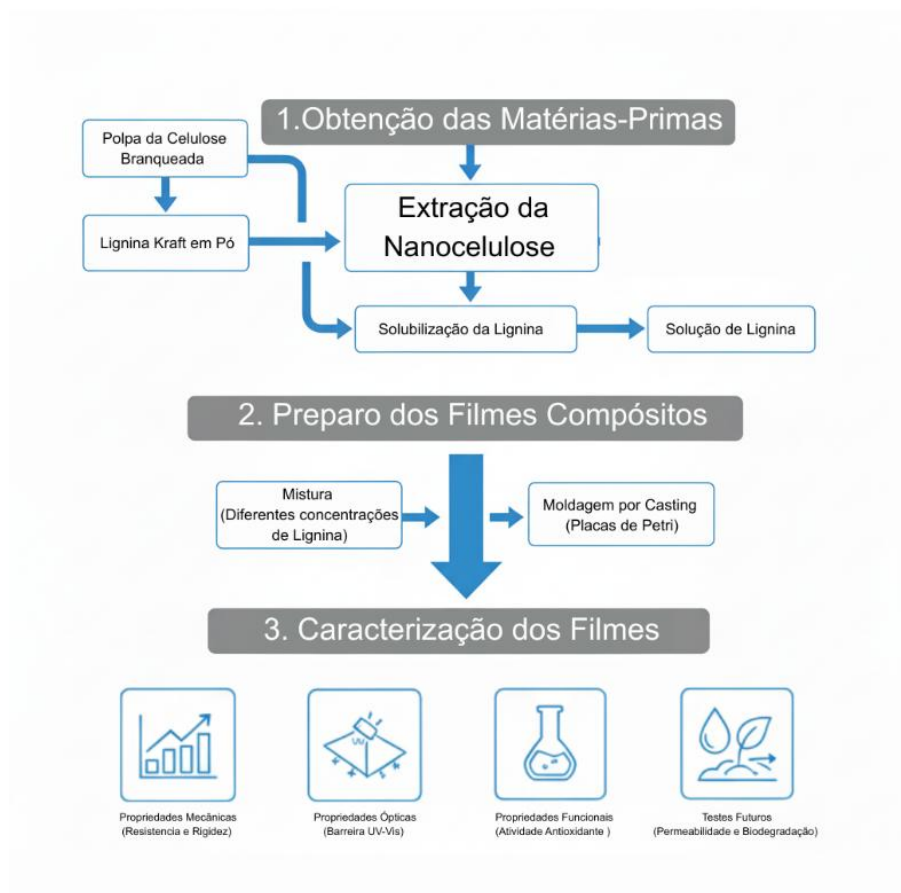
A ideia de combinar nanocelulose e lignina kraft em um mesmo material é aproveitar o melhor de cada um. A nanocelulose forma uma base estrutural com ótima propriedade de barreira, e sua capacidade de reforço mecânico já é bem conhecida. Estudos mostram que adicionar apenas um pouco de nanocelulose a biofilmes com lignina já aumenta bastante a sua rigidez (HOFFMANN; SIGUEL, 2018). Ao mesmo tempo, a lignina entra como um aditivo de baixo custo com múltiplas funções (SHANKAR; RHIM, 2018). Assim, a lignina não só ajuda na interação entre as nanofibras, mas principalmente dá ao filme proteção contra raios UV e contra a oxidação. Esse potencial abre as portas para a criação de embalagens inteligentes, ou smart packaging, que protegem ativamente o produto e aumentam sua vida útil (FIGUEIREDO *et al.*, 2022).



## 2.2 PROPOSTA METODOLÓGICA

Esta seção detalha o plano experimental para a produção e análise dos filmes. A Figura 3 apresenta o fluxograma da metodologia, desde a obtenção das matérias-primas até a caracterização final dos filmes.

FIGURA 3: Fluxograma da metodologia experimental



Fonte: AUTOR (2025)

### 2.2.1 Obtenção dos materiais de partida

A nanocelulose será extraída de uma polpa de celulose branqueada através do método de hidrólise ácida, um procedimento consolidado na literatura (TONOLI *et al.*, 2013; GOMES *et al.*, 2023). As condições da reação, como tempo e temperatura, serão controladas para garantir a qualidade do material. O produto obtido após a hidrólise, contendo a nanocelulose recém-formada, passará por um processo de purificação para remover resíduos ácidos e será homogeneizada para garantir a



dispersão correta das nanopartículas. A lignina kraft em pó será solubilizada em uma solução aquosa, com pH correto para garantir sua dissolução.

#### 2.2.2 Preparação e moldagem dos filmes

Os filmes compósitos serão preparados pela mistura das suspensões de nanocelulose e lignina. Serão estudadas diferentes proporções de lignina em relação à nanocelulose, incluindo um controle sem lignina, para avaliar o impacto de sua concentração nas propriedades do filme. As misturas serão homogeneizadas e, em seguida, os filmes serão produzidos pela técnica de fundição por solvente (casting), que consiste em espalhar a solução em um molde e evaporar o solvente, sendo uma metodologia consolidada para a produção de filmes biodegradáveis (MACIEL *et al.*, 2024). A secagem será realizada em condições controladas para garantir a formação de um material homogêneo e sem defeitos.

#### 2.2.3 Caracterização dos filmes

Após a secagem e o devido condicionamento para padronizar as amostras, os filmes passarão por uma caracterização completa para avaliar suas principais propriedades. Essa análise investigará tanto os aspectos físicos e mecânicos, como espessura, uniformidade e o comportamento estrutural em ensaios de tração para medir resistência, rigidez e flexibilidade, quanto as propriedades ópticas e funcionais. Por fim, será analisada a capacidade dos filmes de bloquear a radiação UV-Vis, uma das funcionalidades chave esperadas pela adição de lignina, e a atividade antioxidante será quantificada por meio de um método espectrofotométrico consolidado (BRAND-WILLIAMS; CUVELIER; BERSSET, 1995).

#### 2.2.4 Testes futuros

Como etapas futuras, planeja-se aprofundar a caracterização do material com testes adicionais. Avaliações de permeabilidade ao vapor de água serão importantes para verificar o desempenho do filme como barreira. Além disso, um ensaio de biodegradação será conduzido para confirmar o perfil sustentável do compósito.

### 2.3 RESULTADOS ESPERADOS

- Aparência e homogeneidade dos filmes:

A expectativa é que o método de casting produza filmes flexíveis, com



aparência uniforme e sem defeitos visíveis, como bolhas ou rachaduras. O filme de nanocelulose pura deve ser transparente, enquanto os filmes com lignina devem apresentar uma cor entre o amarelo-claro e o marrom. A intensidade da cor deve aumentar com a concentração de lignina, o que seria um bom sinal de que ela se espalhou bem pela base de celulose (FIGUEIREDO *et al.*, 2022).

- Desempenho Mecânico:

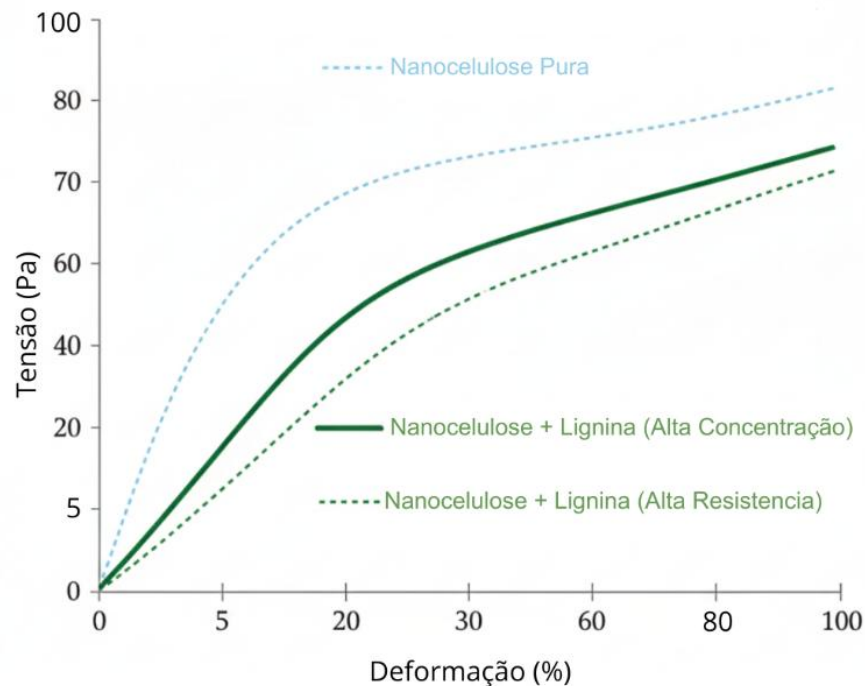
A influência da lignina nas propriedades mecânicas dos filmes é um aspecto crucial e versátil. Embora a expectativa inicial seja de que a lignina atue como reforço, aumentando o Módulo de Young (rigidez) e a resistência à tração em baixas concentrações, como o estudo de Hoffmann e Siguel (2018), indica uma interação complexa e dependente da formulação.

Segundo esses autores, a adição de 2% de lignina a uma matriz de nanocelulose pode resultar em um aumento de 67% no módulo de elasticidade. Contudo, o mesmo estudo também revela que certas composições podem ter o efeito oposto, uma formulação com 1,3% de lignina causou uma redução de aproximadamente 73% no módulo de elasticidade, e a deformação total diminuiu cerca de 20% em outra amostra com 2% de lignina.

Esses resultados apontam a importância de uma investigação detalhada das concentrações e da sinergia entre os componentes. O Gráfico 1 ilustra estas diferentes tendências esperadas. A análise experimental será fundamental para determinar a concentração ótima que promova o efeito de reforço desejado (HOFFMANN; SIGUEL, 2018).



GRAFÍCO 1: Gráfico hipotético de Tensão vs. Deformação.



Fonte: Autor (2025)

- Barreira à radiação UV

Espera-se uma grande redução na passagem de luz ultravioleta nos filmes que contêm lignina. A literatura mostra que a estrutura da lignina é muito eficiente em absorver essa radiação (PRADO; SPINACÉ, 2019; KUDAKA, 2023). Portanto, o efeito de barreira UV deve ser maior quanto mais lignina for adicionada, o que tornaria os filmes muito úteis para proteger produtos sensíveis à luz.

- Atividade antioxidante

Os filmes com lignina devem mostrar uma capacidade antioxidante que pode ser medida, enquanto o filme de nanocelulose pura não deve ter essa propriedade. Essa função vem dos grupos fenólicos da lignina. Essa propriedade é consistentemente relatada em filmes de diferentes matrizes poliméricas (COSTA, 2019; SÁ, 2020). A hipótese é que a atividade antioxidante dos filmes será maior



quanto maior for a concentração de lignina, o que é essencial para o uso em embalagens ativas para alimentos (DOMÍNGUEZ-ROBLES *et al.*, 2020).

- Barreira à umidade e biodegradação

É possível que a adição de lignina, que é um material mais hidrofóbico que a celulose, melhore a capacidade dos filmes de bloquear o vapor de água (SOUZA, *et al.*, 2021). Além disso, como tanto a celulose quanto a lignina são polímeros naturais, esperamos que os filmes se degradem bem no solo, confirmando o perfil sustentável do material e seu descarte seguro no meio ambiente.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este projeto descreve a proposta de um estudo para o desenvolvimento de filmes compósitos por nanocelulose e lignina kraft. A pesquisa nasceu do desafio global de encontrar substitutos sustentáveis para os plásticos derivados do petróleo, especialmente para o setor de embalagens, que precisa de soluções mais funcionais e ecológicas.

A base teórica deste trabalho mostra que a proposta é viável, principalmente pela combinação das boas propriedades estruturais da nanocelulose com as múltiplas funções da lignina. Espera-se que os resultados dos experimentos confirmem o que foi projetado como eficiente proteção contra raios UV e a atividade antioxidante (COSTA *et al.*, 2016).

Este estudo se destaca por colocar em prática os princípios da bioeconomia e da economia circular. A proposta é dar um novo destino para a lignina kraft, transformando-a em uma matéria-prima. Assim, o material desenvolvido cumpre uma função dupla, além de ter o potencial de aumentar a durabilidade dos produtos que embala, ele foi pensado para se biodegradar de forma segura, fechando seu ciclo de vida de maneira sustentável.

Apesar de esta fase do estudo ser uma proposta, o plano experimental detalhado serve como um guia sólido para os próximos passos. A sugestão para trabalhos futuros é executar os testes planejados, otimizar a quantidade de lignina para obter o melhor desempenho e, em seguida, testar os filmes diretamente em alimentos. Além disso, pesquisas anteriores mostram que filmes de celulose-lignina



podem ser aplicados em diferentes tipos de compósitos e embalagens ativas, evidenciando a versatilidade do material (HAN, 2014).

Por fim, fica claro que esta linha de pesquisa tem grande relevância, tanto científica quanto tecnológica, e representa um passo importante para o desenvolvimento de uma solução inovadora e sustentável para o mercado de embalagens.

## **5. AGRADECIMENTOS**

Expresso minha gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para a concretização deste trabalho.

Primeiramente, meus sinceros agradecimentos ao Professor Érickson Alex de Lima, pela orientação, pelos conhecimentos compartilhados e pelo apoio, que foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa. Agradeço também à Unifateb, pela estrutura e oportunidade que tornaram este trabalho possível.

Por fim, agradeço a todos os demais envolvidos, cuja contribuição, direta ou indireta, foi essencial para o sucesso deste projeto.



## REFERÊNCIAS

BELO, P. S. *et al.* Nanocelulose: produção e aplicação em compósitos de cimento Portland. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 11, n. 4, p. 759-781, 2018.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.

COSTA, J. F. S. Avaliação das propriedades químicas, térmicas e citotóxicas de filmes de colágeno incorporados com lignina kraft fracionada. 2019. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

COSTA, S. S. *et al.* Estudo prospectivo sobre a obtenção e incorporação de nanocristais de celulose em filmes biodegradáveis. *Revista Virtual de Química*, v. 8, n. 3, p. 1091-1108, 2016. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/download/1800/805/8972>. Acesso em: 16 set. 2025.

DOMÍNGUEZ-ROBLES, J. *et al.* Lignin in food packaging applications. *Polymers*, v. 12, n. 12, p. 3033, 2020.

FIGUEIREDO, P. *et al.* Sustainable cellulose—lignin films for active packaging: Barrier, W protection and antioxidant properties. *Carbohydrate Polymers*, v. 275, p. 118702, 2022.

GARCIA, A. *et al.* Lignina: um biopolímero promissor para o desenvolvimento de materiais de alto desempenho. *Revista Matéria*, v. 23, n. 4, 2018.

GOMES, A.; SILVA, B.; OLIVEIRA, C. Desenvolvimento de filmes biodegradáveis à base de nanocelulose. *Revista Brasileira de Materiais*, v.12, n.3, p.45-56, 2023.

HAN, J. H. A review of food packaging technologies and innovations. In: HAN, J. H. (Ed.). *Innovations in Food Packaging*. 2. ed. London: Academic Press, 2014. p. 3–12.

HOFFMANN, F. Z.; SIGUEL, F. Produção de filmes biodegradáveis a base de lignina, ágar e nanocelulose. 2018.

KUDAKA, A. M. Funcionalização da lignina kraft com composto quaternário de amônio e aplicação em filmes à base de gelatina. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2023.

LANGE, H.; CRESTINI, C. Lignin: Isolation, Structure and Valorisation. In: MORGANTI, P. (Ed.). *Bionanotechnology to Save the Environment*. Basel: MDPI, 2018. p. 125-171.



LIMA, Érickson Alex de. Obtenção e caracterização de lignina kraft utilizando resíduos industriais. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2022.

LIMA, F. G.; BARBOSA, M. S. Comportamento do Consumidor Verde: Um Estudo Sobre a Influência da Embalagem Ecológica na Decisão de Compra. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, v. 15, n. 1, p. 1-18, 2021.

MACIEL, H. C. *et al.* Embalagem biodegradável e ativa para carnes. *B.CEPPA*, Curitiba, v. 42, n. 2, jul./dez. 2024.

MARINHO, N. P. *et al.* Características da Polpa kraft Extraída da Espécie Acácia-negra na Produção de Papel. *Floresta e Ambiente*, v. 24, e00099214, 2017.

OECD. *Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options*. Paris: OECD Publishing, 2022.

PRADO, K. S.; SPINACÉ, M. A. S. Lignina: da estrutura aos recentes avanços em aplicações. *Revista Virtual de Química*, v. 11, n. 1, p. 19-45, 2019.

ROBERTSON, G. L. *Food packaging: principles and practice*. 3. ed. CRC press, 2012.

SÁ, N. M. S. M. Utilização da fibra poda do cajueiro como fonte de lignina e nanocristais de celulose para incorporação em filmes de celulose bacteriana. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

SHANKAR, S.; RHIM, J. W. Lignin-based functional materials and their structural, physical, and functional properties. In: *Lignin*. IntechOpen, 2018.

SOUZA, A. G.; CYRAS, V. P.; PARISI, M. Filmes e compósitos a base de nanocelulose e suas aplicações em embalagens. *Polímeros*, v. 31, n. 1, e20210007, 2021.

TRACHE, D. *et al.* Nanocellulose: from fundamentals to advanced applications. *Frontiers in Chemistry*, Lausanne, v. 8, p. 392, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.00392>.

TONOLI, G. H. D. *et al.* Nanocelulose: da produção às aplicações em compósitos. *Floresta e Ambiente*, v. 20, n. 4, p. 553-564, 2013.



## CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Nome completo: Victor Wojdylo Machado

Item de colaboração	Igual aos demais	Menor que os demais	Maior que os demais	Não participou deste item
Contextualização do trabalho	x			
Organização dos dados	x			
Análise formal dos dados	x			
Análise formal do texto	x			
Financiamento para desenvolvimento do trabalho	Não aplicável			
Investigação e estudo	x			
Metodologia	x			
Administração de cronograma	x			
Administração de recursos	Não aplicável			
Gestão do projeto	x			
Validação do projeto	x			
Marketing	Não aplicável			
Escrita do trabalho	x			
Participação em reuniões	Não aplicável			
Revisão do trabalho	x			
Participação na construção do protótipo	Não aplicável			