

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL

YOHANN LIMA MATIAS

**O PAPEL DOS BIOPOLÍMEROS: UMA ABORDAGEM UTILIZANDO A
MATRIZ SWOT**

JOÃO PESSOA - PB

2025

YOHANN LIMA MATIAS

**O PAPEL DOS BIOPOLÍMEROS: UMA ABORDAGEM UTILIZANDO A MATRIZ
SWOT**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do curso de Química Industrial
da Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento aos requisitos para obtenção do
título de Bacharel em Química Industrial

Orientador: Carlos Alberto Bispo de Sousa

JOÃO PESSOA – PB

2025

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M433p Matias, Yohann Lima.

O PAPEL DOS BIOPOLÍMEROS: UMA ABORDAGEM UTILIZANDO A
MATRIZ SWOT / Yohann Lima Matias. - João Pessoa, 2025.
30 f.

Orientação: Carlos Alberto Bispo Sousa.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Biopolímeros. 2. Polímeros Naturais. 3. Materiais
Biodegradáveis. 4. Indústria Sustentável. 5. Economia
Circular. I. Sousa, Carlos Alberto Bispo. II. Título.

UFPB/CT/BSCT

CDU 66.01(043.2)

YOHANN LIMA MATIAS

**O PAPEL DOS BIOPOLÍMEROS: UMA ABORDAGEM UTILIZANDO A MATRIZ
SWOT**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do curso de Química Industrial
da Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento aos requisitos para obtenção do
título de Bacharel em Química Industrial.

Aprovado em 05 de maio de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **CARLOS ALBERTO BISPO DE SOUSA**
Data: 06/05/2025 17:53:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Carlos Alberto Bispo de Sousa
Orientador – DEQ/CT/UFPB

Documento assinado digitalmente
 **REBECA TIBAU AGUIAR DIAS**
Data: 07/05/2025 11:46:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Rebeca Tibau Aguiar Dias
Examinadora – DEQ/CT/UFPB

Documento assinado digitalmente
 **NATHALIA DE VASCONCELOS GOMES**
Data: 07/05/2025 12:21:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Enga. Nathália de Vasconcelos Gomes
Examinadora

RESUMO

O presente trabalho abordou o desenvolvimento e aplicações de biopolímeros, destacando seu potencial como alternativa sustentável aos materiais sintéticos convencionais. Ao longo do estudo foram exploradas as principais tendências de pesquisa, avanços tecnológicos e desafios enfrentados na produção e uso de biopolímeros em diferentes setores. A análise de publicações científicas e registros de patentes evidenciou o crescimento exponencial do interesse acadêmico e industrial sobre o tema, refletindo a busca por soluções mais ecológicas e economicamente viáveis. Foram destacados os vários tipos de biopolímeros, suas propriedades, fontes de obtenção e possibilidades de integração com outras tecnologias verdes, como a nanotecnologia e a bioengenharia. O estudo apresentou ainda a importância da articulação entre centros de pesquisa, setor produtivo e políticas públicas para o avanço dessa tecnologia. Como conclusão, o trabalho reforçou que os biopolímeros são ferramentas promissoras para o enfrentamento de desafios ambientais e construção de uma economia mais circular. Contudo, ainda há lacunas a serem superadas, como a melhora nas propriedades técnicas, a redução de custos produtivos e a necessidade de maior investigação sobre impactos ambientais. Foram sugeridas novas frentes de pesquisa, principalmente na área da escalabilidade, regulamentação e inovação tecnológica.

Palavras-chave: Biopolímeros; Polímeros Naturais; Materiais Biodegradáveis; Indústria Sustentável; Economia Circular.

ABSTRACT

This study addressed the development and applications of biopolymers, highlighting their potential as a sustainable alternative to conventional synthetic materials. Throughout the study, the main research trends, technological advances, and challenges faced in the production and use of biopolymers in different sectors were explored. The analysis of scientific publications and patent registrations highlighted the exponential growth of academic and industrial interest in the subject, reflecting the search for more ecological and economically viable solutions. The various types of biopolymers, their properties, sources of production, and possibilities of integration with other green technologies, such as nanotechnology and bioengineering, were highlighted. The study also presented the importance of coordination between research centers, the productive sector, and public policies for the advancement of this technology. In conclusion, the study reinforced that biopolymers are promising tools for facing environmental challenges and building a more circular economy. However, there are still gaps to be overcome, such as improving technical properties, reducing production costs, and the need for further research on environmental impacts. New research fronts were suggested, mainly in scalability, regulation and technological innovation.

Keywords: Biopolymers; Natural Polymers; Biodegradable Materials; Sustainable Industry; Circular Economy.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1 OBJETIVOS	8
1.2 JUSTIFICATIVA	9
2. METODOLOGIA	10
3. REVISÃO DA LITERATURA	11
3.1 SWOT E SUA IMPORTÂNCIA NA INDÚSTRIA QUÍMICA	11
3.2 CONCEITOS E CLASSIFICAÇÕES DOS BIOPOLÍMEROS	11
3.2.1 BIOPOLÍMEROS NATURAIS	12
3.2.2 BIOPOLÍMEROS SINTÉTICOS	13
3.3 HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DOS BIOPOLÍMEROS	14
3.4 AVANÇOS RECENTES	18
3.5 DESAFIOS E LIMITAÇÕES	20
3.6 PERSPECTIVAS FUTURAS	24
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
REFERÊNCIAS	31

1. INTRODUÇÃO

Os biopolímeros têm ganhado destaque na indústria química devido à sua crescente aplicação em setores como embalagens, biomateriais, construção civil e biomedicina. Diferentemente dos polímeros sintéticos, que são derivados do petróleo e apresentam alto impacto ambiental, os biopolímeros são obtidos de fontes renováveis e possuem a vantagem da biodegradabilidade (FARIAS *et al.*, 2016). Com o aumento das preocupações ambientais e a necessidade de materiais sustentáveis, esses polímeros surgem como uma alternativa promissora para reduzir a dependência de materiais plásticos convencionais e mitigar os impactos negativos ao meio ambiente (ARAÚJO, 2020).

A produção e o desenvolvimento de biopolímeros têm sido impulsionados por avanços tecnológicos que permitiram a otimização de suas propriedades físico-químicas, aumentando sua resistência mecânica, durabilidade e aplicabilidade em diversos segmentos industriais (PEI *et al.*, 2021). Além disso, novas abordagens na biotecnologia, como a engenharia genética e o uso de microrganismos na biossíntese de polímeros naturais, ampliam o potencial desses materiais no mercado (SÁNCHEZ, 2020).

A aplicabilidade dos biopolímeros na indústria química envolve desafios e oportunidades. Por um lado, a necessidade de escalonamento produtivo e redução de custos de fabricação são pontos críticos para sua competitividade frente aos polímeros sintéticos (BANDEIRA *et al.*, 2024). Por outro, sua biodegradabilidade e potencial para substituir materiais convencionais impulsionam pesquisas sobre novas formulações, processos de produção e aplicações inovadoras (CASTRO *et al.*, 2024). Dessa forma, o estudo dos biopolímeros torna-se essencial para compreender seu papel na transição para uma economia mais sustentável e de baixo impacto ambiental.

1.1 OBJETIVOS

Analisar o papel dos biopolímeros na indústria química, com ênfase em seus avanços, desafios e perspectivas futuras.

Os objetivos específicos incluem:

- Apresentar a evolução histórica dos biopolímeros, desde sua descoberta até os avanços tecnológicos atuais.
- Identificar suas principais aplicações industriais e os respectivos impactos ambientais e econômicos.
- Analisar os desafios da produção em larga escala, considerando custo-benefício.
- Explorar perspectivas futuras para a pesquisa e desenvolvimento desses materiais frente às novas tecnologias e tendências de mercado.

1.2 JUSTIFICATIVA

O estudo dos biopolímeros é de extrema importância tanto para a comunidade acadêmica quanto para a indústria química, pois envolve questões fundamentais relacionadas à inovação, sustentabilidade e desenvolvimento de novos materiais. Com a crescente demanda por alternativas ecológicas e a regulamentação mais rígida sobre o uso de plásticos convencionais, compreender os avanços e desafios dos biopolímeros torna-se essencial para impulsionar a adoção dessas soluções no mercado global (SANTOS, 2021).

Do ponto de vista acadêmico, a pesquisa sobre biopolímeros contribui para o avanço do conhecimento científico em áreas como biotecnologia, química de materiais e engenharia de polímeros. Além disso, possibilita o desenvolvimento de novas formulações e processos produtivos que podem otimizar as propriedades dos biopolímeros e ampliar suas aplicações industriais (RĂUT *et al.*, 2021).

Para o setor industrial, compreender o papel dos biopolímeros é fundamental para a criação de estratégias que viabilizem sua produção em larga escala e sua inserção no mercado de forma competitiva. Empresas que investem em materiais biodegradáveis e de origem renovável podem se beneficiar economicamente e atender às demandas de consumidores cada vez mais preocupados com a sustentabilidade (BANDEIRA *et al.*, 2021).

Dessa forma, o presente estudo busca contribuir para o entendimento sobre o potencial dos biopolímeros como alternativa sustentável aos polímeros sintéticos, oferecendo informações relevantes para pesquisadores, empresas e formuladores de políticas públicas interessadas na transição para uma economia mais verde.

2. METODOLOGIA

Este estudo foi desenvolvido a partir de uma revisão de literatura, utilizando artigos científicos, dissertações, teses e publicações recentes relacionadas ao tema dos biopolímeros. A pesquisa bibliográfica envolveu a análise de fontes acadêmicas e industriais que abordam os avanços, desafios e perspectivas futuras desses materiais, garantindo uma abordagem abrangente e atualizada sobre o assunto.

As bases de dados acadêmicas consultadas (Google Scholar, SciELO, etc.) incluem periódicos científicos indexados (Advanced Functional Materials, Research, Society and Development, DYNA, Materials), repositórios institucionais e revistas (Revista Geonorte, RECIMA21 – Revista Científica Multidisciplinar, Revista Contemporânea, Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente) especializadas em ciência dos materiais e engenharia química. A busca foi limitada a publicações dos últimos 12 anos. Foram selecionadas referências nacionais e internacionais que abordam desde o desenvolvimento histórico dos biopolímeros até suas aplicações e impactos na indústria química.

Os critérios de seleção para as publicações consideraram a pertinência do conteúdo em relação ao tema central, a qualidade metodológica e a contribuição para o entendimento da identificação das principais tendências e inovações tecnológicas na área de biopolímeros, bem como a análise de desafios e oportunidades para sua utilização em diferentes setores industriais.

A análise dos dados coletados foi realizada utilizando a matriz SWOT, permitindo uma avaliação estratégica das forças, fraquezas, oportunidades e ameaças identificadas na literatura. Essa abordagem facilitou a identificação de lacunas de pesquisa e a formulação de uma base sólida para o desenvolvimento do presente estudo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 SWOT E SUA IMPORTÂNCIA NA INDÚSTRIA QUÍMICA

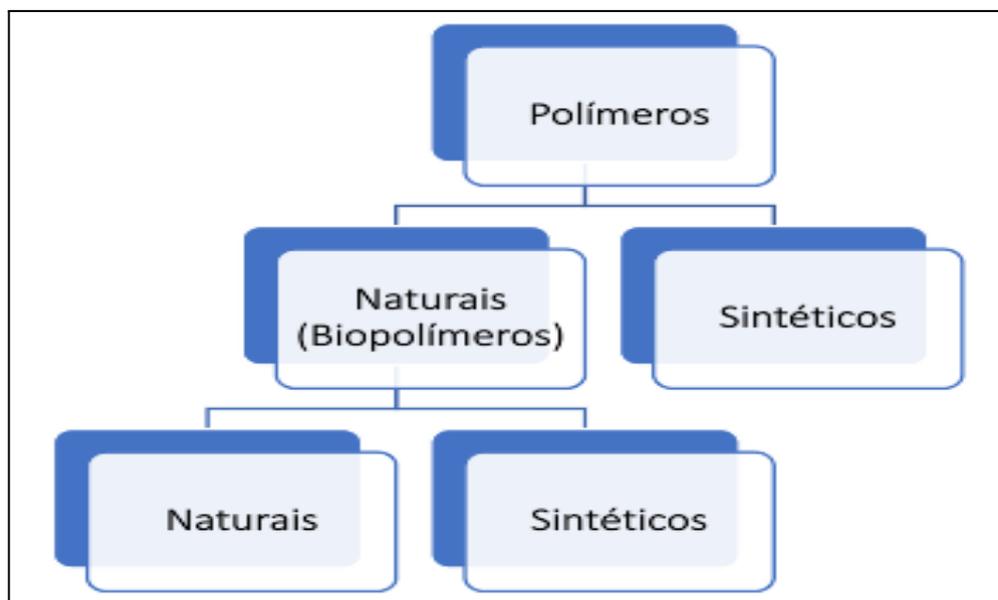
A análise SWOT, conhecida como FOFA em português, é uma ferramenta que auxilia as empresas da indústria química a identificarem seus pontos fortes e fracos, além das oportunidades e ameaças do ambiente em que atuam. Ao analisar tanto fatores internos quanto externos, a SWOT torna mais fácil entender as capacidades da empresa e os desafios do mercado. Dessa forma, contribui para a definição de estratégias mais assertivas e para a elaboração de planos de ação que favorecem o alcance dos objetivos do setor químico (SANT'ANA *et al.*, 2017).

3.2 CONCEITOS E CLASSIFICAÇÕES DOS BIOPOLÍMEROS

Os biopolímeros são macromoléculas poliméricas formadas a partir de fontes biológicas renováveis, podendo ser sintetizados por organismos vivos ou por processos bioquímicos controlados (ARAÚJO, 2020). Devido à crescente preocupação ambiental e à busca por alternativas sustentáveis aos polímeros sintéticos derivados do petróleo, os biopolímeros têm se destacado como materiais promissores para diversas aplicações industriais.

Segundo Bandeira *et al.* (2024), os biopolímeros podem ser classificados em duas grandes categorias: naturais e sintéticos. Os biopolímeros naturais são aqueles diretamente extraídos de organismos vivos, como polissacarídeos e proteínas, enquanto os biopolímeros sintéticos são produzidos a partir de monômeros de origem renovável por meio de processos químicos controlados.

Figura 3.1 - Classificação dos polímeros



Fonte: Autoria própria (2025)

Os biopolímeros apresentam propriedades físico-químicas diferenciadas, o que os torna versáteis para aplicações na indústria alimentícia, médica, farmacêutica, têxtil e de construção civil (CASTRO *et al.*, 2024). A análise de patentes mostra um crescimento no interesse por esses materiais, especialmente devido às suas características biodegradáveis e compatibilidade ambiental (BANDEIRA *et al.*, 2021).

3.2.1 BIOPOLÍMEROS NATURAIS

Os biopolímeros naturais são aqueles sintetizados diretamente por organismos vivos, sendo classificados em três principais categorias: polissacarídeos, proteínas e ácidos nucleicos (FARIAS *et al.*, 2016).

Os polissacarídeos, como celulose, quitina, quitosana e alginatos, são amplamente utilizados devido à sua biocompatibilidade e biodegradabilidade. Segundo Sánchez (2020), a *Xanthomonas campestris* é uma bactéria de importância industrial na produção de biopolímeros como a goma xantana, um polissacarídeo utilizado em setores de alimentos, cosméticos e petróleo.

As proteínas, como colágeno, gelatina e fibroína da seda, também são biopolímeros naturais com aplicações diversas. Conforme destacado por Pei *et al.* (2021), a fibroína da seda tem sido utilizada no desenvolvimento de nanomateriais biomédicos devido às suas propriedades mecânicas superiores e biocompatibilidade.

Já os ácidos nucleicos, como o DNA e o RNA, embora não sejam amplamente utilizados em aplicações industriais, têm ganhado atenção na bioengenharia e nanotecnologia para a produção de materiais inteligentes e biossensores (ROCHA; SILVA; SOUZA, 2013).

O estudo de Castro *et al.* (2024) reforça que os biopolímeros naturais apresentam propriedades físico-químicas que os tornam adequados para aplicações estruturais, como a substituição de polímeros sintéticos na construção civil e em embalagens sustentáveis.

3.2.2 BIOPOLÍMEROS SINTÉTICOS

Os biopolímeros sintéticos são aqueles produzidos artificialmente a partir de fontes renováveis, por meio de processos químicos ou enzimáticos (RÄUT *et al.*, 2021). Eles são desenvolvidos para apresentar propriedades específicas, como maior resistência térmica e mecânica, visando substituir polímeros convencionais derivados de combustíveis fósseis.

Um dos biopolímeros sintéticos mais estudados é o polihidroxialcanoato (PHA), uma família de poliésteres microbianos que possuem alta biodegradabilidade e aplicações em embalagens, dispositivos médicos e bioplásticos (VALERO-VALDIVIESO *et al.*, 2013). De acordo com Santos (2021), o PHA tem sido amplamente pesquisado como alternativa ao plástico convencional, visto que sua degradação ocorre naturalmente no meio ambiente sem impactos significativos.

Outro exemplo importante é o ácido polilático (PLA), um polímero biodegradável obtido a partir do amido de milho ou da cana-de-açúcar. Conforme analisado por Bandeira *et al.* (2024), o PLA tem sido amplamente utilizado na indústria de embalagens, impressão 3D e na fabricação de tecidos sustentáveis.

Além disso, estudos recentes demonstram o potencial de compósitos poliméricos derivados de fungos para aplicações na construção civil, contribuindo

para o desenvolvimento de materiais mais sustentáveis e inovadores (RÄUT *et al.*, 2021).

A pesquisa de Farias *et al.* (2016) destaca que a utilização de biopolímeros sintéticos pode desempenhar um papel essencial na promoção do desenvolvimento sustentável, reduzindo a dependência de materiais não renováveis e minimizando os impactos ambientais.

Os biopolímeros representam uma alternativa sustentável e inovadora frente aos polímeros sintéticos derivados do petróleo. Sua classificação em naturais e sintéticos permite uma ampla gama de aplicações, desde a indústria alimentícia até a construção civil, sendo um campo promissor para pesquisa e desenvolvimento (BANDEIRA *et al.*, 2021).

A crescente produção científica e tecnológica em torno dos biopolímeros, conforme demonstrado por análises bibliométricas e patentométricas, reforça sua importância para o avanço da sustentabilidade e inovação nos mais diversos setores industriais (ARAÚJO, 2020).

Dessa forma, a busca por novos biopolímeros e o aperfeiçoamento de suas propriedades são essenciais para garantir sua viabilidade comercial e sua contribuição para um futuro mais sustentável (SANTOS, 2021).

3.3 HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DOS BIOPOLÍMEROS

Os polímeros são macromoléculas formadas a partir de moléculas menores chamadas de monômeros e podem ser classificados em naturais e sintéticos. Os polímeros naturais e sintéticos desempenham um papel central na ciência dos materiais, engenharia, medicina e diversas indústrias modernas. O curso do seu desenvolvimento está diretamente ligado à evolução da ciência química tecnológica, com marcos que atravessam séculos, desde a antiguidade com usos primitivos de materiais naturais como resinas, ceras e gomas, além, da passagem pelo início do século XX com a sintetização dos primeiros polímeros derivados do petróleo como baquelite e poliestireno, até a contemporaneidade com polímeros com aplicações variadas e específicas, a depender da finalidade de utilização.

Esta revisão apresenta um panorama sobre a evolução histórica dos biopolímeros, desde as primeiras descobertas até os avanços tecnológicos mais recentes, destacando os principais marcos científicos e tecnológicos que

contribuíram para o desenvolvimento desses materiais.

Os biopolímeros são macromoléculas naturais ou sintéticas obtidas a partir de fontes renováveis e desempenham um papel fundamental no desenvolvimento de materiais sustentáveis. Os biopolímeros têm suas raízes históricas nas primeiras civilizações, que utilizava materiais naturais como celulose, proteínas e polissacarídeos para a confecção de objetos e utensílios. Um dos primeiros biopolímeros amplamente utilizados foi a celulose, principal componente estrutural das plantas, explorada para a fabricação de papel desde a antiguidade (FARIAS *et al.*, 2016).

No século XIX, o desenvolvimento da química macromolecular permitiu um avanço significativo no estudo e na aplicação dos biopolímeros. A descoberta da borracha natural e sua vulcanização por Charles Goodyear, em 1839, foi um marco importante, pois demonstrou a possibilidade de modificar propriedades de polímeros naturais para aplicações específicas (ROCHA; SILVA; SOUZA, 2013). Outro avanço significativo foi a obtenção da celulose nitrada, que deu origem ao celulóide, um dos primeiros polímeros artificiais, utilizado na produção de filmes fotográficos e outros produtos industriais (ARAÚJO, 2020).

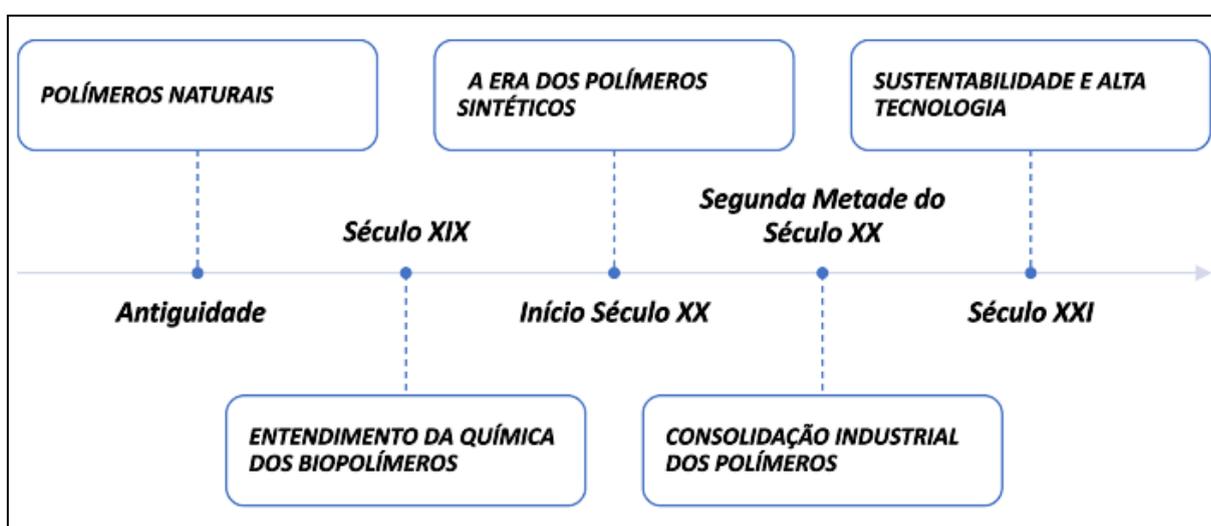
Com o avanço da ciência dos polímeros no início do século XX, despontaram o desenvolvimento de materiais a partir de polímeros sintéticos variados, a título de exemplos, o primeiro hidrogel sintético baseado em polihidroxietilmetacrilato (HEMA) e a impressão 3D alcançada através de resinas fotopolimerizáveis e filamentos de polímero fundido. Entre as décadas de 1970 e 1990 avanços nos processos de reticulação permitiram a diversificação de hidrogéis em aplicações médicas e agrícolas, além da introdução de hidrogéis sensíveis a estímulos, também conhecidos como hidrogéis “inteligentes”. Já entre as décadas de 1990 e 2000 foi lançada a primeira impressora 3D comercial e ocorreu a primeira utilização da impressão 3D para criar um scaffold biocompatível. Contudo, em pleno o século XXI os hidrogéis e a impressão 3D vem sendo integrados com novas biotecnologias, alcançando grandes avanços e diversificações de maneira sustentável.

Em decorrência ao crescimento massivo dos polímeros sintéticos surgiram novos biopolímeros de interesse industrial, como o ácido polilático (PLA) e os polihidroxialcanoatos (PHA), obtidos a partir de fontes microbianas, que inclusive viriam a ser alternativas aos sintéticos utilizados em hidrogéis e impressão 3D. O desenvolvimento desses polímeros foi impulsionado pela necessidade de

alternativas aos plásticos sintéticos derivados do petróleo, cuja produção começou a crescer exponencialmente a partir da década de 1950 (SÁNCHEZ, 2020).

Nas últimas décadas, a preocupação ambiental e a necessidade de reduzir o impacto dos resíduos plásticos impulsionaram ainda mais o desenvolvimento de biopolímeros sustentáveis. A utilização de fontes renováveis para a produção desses materiais passou a ser uma prioridade para diversos setores industriais, promovendo o avanço de tecnologias de processamento e aprimoramento das propriedades físico-químicas dos biopolímeros (SANTOS, 2021).

Figura 3.2 - História e evolução dos polímeros



Fonte: Autoria própria (2025)

A busca por alternativas ecológicas aos polímeros convencionais tem impulsionado pesquisas e inovações no campo dos biopolímeros, ampliando sua aplicação em diversos setores industriais, como a construção civil, a biomedicina e a produção de embalagens biodegradáveis (BANDEIRA *et al.*, 2021).

A pesquisa sobre biopolímeros teve grande avanço com a descoberta de métodos biotecnológicos para a produção em larga escala. A *Xanthomonas campestris*, por exemplo, é uma bactéria utilizada na síntese da xantana, um biopolímero amplamente aplicado na indústria alimentícia e farmacêutica (SÁNCHEZ, 2020). O desenvolvimento de polímeros biodegradáveis, como os poliésteres bacterianos, representou uma inovação importante para o setor industrial e ambiental (PEI *et al.*, 2021).

Estudos recentes indicam que a indústria da construção civil tem se beneficiado amplamente dos biopolímeros, com aplicações em materiais compósitos, isolantes térmicos e tintas ecológicas (BANDEIRA *et al.*, 2024). De acordo com Răut *et al.* (2021), os biopolímeros derivados de fungos são uma inovação promissora, apresentando propriedades mecânicas e biodegradabilidade superiores aos polímeros convencionais.

Além disso, o desenvolvimento de nanobiopolímeros têm permitido a criação de materiais avançados para aplicações biomédicas e eletrônicas. Esses polímeros oferecem alta biocompatibilidade e resistência mecânica, sendo utilizados na produção de dispositivos médicos, curativos inteligentes e sistemas de liberação controlada de fármacos (PEI *et al.*, 2021).

O avanço da biotecnologia tem possibilitado o desenvolvimento de biopolímeros com propriedades aprimoradas, como maior resistência térmica e mecânica, além de uma biodegradabilidade controlada. O uso da engenharia genética e da biologia sintética tem sido explorado para a modificação de microrganismos produtores de biopolímeros, permitindo a otimização dos processos industriais e a redução de custos de produção (VALERO-VALDIVIESO; ORTEGÓN; USCATEGUI, 2013).

No entanto, desafios ainda precisam ser superados para a ampla adoção dos biopolímeros em escala industrial. O alto custo de produção, a necessidade de infraestrutura específica para biodegradação e a competição com polímeros sintéticos de baixo custo são algumas das barreiras que limitam a expansão desse mercado (CASTRO *et al.*, 2024). Segundo Bandeira *et al.* (2021), a análise bibliométrica sobre o uso de biopolímeros na construção civil demonstra que, apesar do crescimento das pesquisas, a aplicação comercial ainda é restrita devido a desafios tecnológicos e regulatórios.

Ainda assim, a tendência global em direção à economia circular e à redução da dependência de combustíveis fósseis tem incentivado governos e indústrias a investirem em pesquisas e inovação na área dos biopolímeros. Novas políticas ambientais e incentivos fiscais podem contribuir para o aumento da produção e do consumo desses materiais, tornando-os uma alternativa viável e competitiva frente aos polímeros convencionais (ARAÚJO, 2020).

A evolução dos biopolímeros ao longo da história reflete a busca constante por materiais mais sustentáveis e eficientes. Desde as primeiras aplicações da

celulose até o desenvolvimento de polímeros bacterianos e nanobiopolímeros, a pesquisa nessa área tem proporcionado avanços significativos para diversas indústrias.

Embora os desafios ainda existam, as perspectivas para os biopolímeros são promissoras, especialmente com os avanços da biotecnologia e das políticas de incentivo à sustentabilidade. O desenvolvimento de novos processos produtivos e a criação de aplicações inovadoras podem consolidar os biopolímeros como uma alternativa viável para a substituição dos plásticos convencionais, contribuindo para a preservação ambiental e o desenvolvimento sustentável.

3.4 AVANÇOS RECENTES

Nas últimas décadas, a indústria de materiais tem experimentado transformações significativas impulsionadas pela biotecnologia, nanotecnologia e química verde. No contexto dos biopolímeros, observa-se uma crescente implementação de métodos mais sustentáveis, eficientes e tecnologicamente avançados para sua produção e processamento. Essas inovações incluem a utilização de micro-organismos geneticamente modificados, engenharia de enzimas e técnicas de fermentação controlada para síntese de polímeros biodegradáveis como o ácido poliláctico (PLA), o poli-hidroxitirato (PHB) e o polihidroxialcanoato (PHA) (PEI *et al.*, 2021).

De acordo com Sánchez (2020), o uso do pangenoma de *Xanthomonas campestris* tem potencializado o conhecimento genético dessa bactéria amplamente usada na produção de goma xantana, um biopolímero de importância industrial. O aprofundamento no genoma da cepa permite maior controle sobre a biossíntese e, conseqüentemente, otimização da produção. Em consonância, Pei *et al.* (2021) destacam o papel dos nanocompósitos de biopolímeros, que vêm sendo empregados como blocos estruturais na criação de novos materiais funcionais com propriedades mecânicas, térmicas e ópticas melhoradas.

No setor da construção civil, essas tecnologias encontram aplicação promissora. Răut *et al.* (2021) exploraram o desenvolvimento de compósitos à base de fungos e biopolímeros, com ênfase na substituição de materiais convencionais por alternativas biodegradáveis e de menor impacto ambiental. Bandeira *et al.* (2021, 2024) corroboram essas evidências por meio de análises bibliométricas e

patentométricas que apontam um aumento expressivo nas pesquisas voltadas ao uso de biopolímeros como aditivos ou componentes estruturais em materiais de construção.

A pesquisa e o desenvolvimento de novos biopolímeros têm sido impulsionados pela necessidade de encontrar soluções menos poluentes e mais compatíveis com a economia circular. O surgimento de materiais híbridos, que combinam propriedades de diferentes fontes naturais, tem ampliado o leque de aplicações e funcionalidades desses compostos. Segundo Castro *et al.* (2024), os biopolímeros de origem animal, como a quitina e o colágeno, apresentam características físico-químicas únicas que os tornam versáteis em aplicações biomédicas, alimentícias e cosméticas.

Araújo (2020), em estudo sobre propriedade intelectual, observa que o aumento de registros de patentes de biopolímeros está intimamente ligado à expansão de áreas de pesquisa multidisciplinar, nas quais convergem conhecimentos em biologia, química, engenharia de materiais e ciência ambiental. O avanço científico tem propiciado o desenvolvimento de macromoléculas biodegradáveis com maior resistência térmica, solubilidade e capacidade de formar filmes, o que favorece seu uso em embalagens inteligentes, revestimentos agrícolas e tecidos biodegradáveis (ROCHA, SILVA & SOUZA, 2013).

A literatura internacional também aponta para perspectivas inovadoras. Valero-Valdivieso *et al.* (2013) abordam o panorama dos biopolímeros como tecnologia emergente na América Latina, salientando que, apesar dos desafios técnicos e econômicos, os avanços científicos têm consolidado sua importância em setores estratégicos. A tendência é o crescimento da adoção de biopolímeros derivados de resíduos agroindustriais, microalgas e fungos, o que reforça sua viabilidade econômica e ecológica.

Um dos principais benefícios associados aos biopolímeros é sua contribuição à sustentabilidade ambiental. Esses materiais, ao contrário dos polímeros derivados do petróleo, apresentam maior biodegradabilidade, potencial de compostagem e menor emissão de gases de efeito estufa durante sua produção. Farias *et al.* (2016) argumentam que os biopolímeros representam uma alternativa eficaz para reduzir a dependência de polímeros sintéticos e mitigar os impactos ambientais causados pelo acúmulo de resíduos plásticos.

O uso de fontes renováveis para a produção de biopolímeros contribui significativamente para a diminuição da pressão sobre os recursos fósseis. Santos (2021), aponta que a utilização de matérias-primas como amido, celulose e proteínas vegetais permite a criação de cadeias produtivas mais limpas e circulares, alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Essa abordagem, segundo o autor, fortalece a relação entre inovação tecnológica e responsabilidade ambiental.

Além disso, a aplicação de biopolímeros em setores como a agricultura e construção civil promove a sustentabilidade sistêmica. Segundo Bandeira *et al.* (2024), o emprego de materiais biodegradáveis na construção pode reduzir a geração de resíduos sólidos e a emissão de compostos tóxicos, promovendo edificações ambientalmente responsáveis. Já Răut *et al.* (2021) reforçam que os compósitos fúngicos representam um passo importante na substituição de materiais sintéticos por biocompostos sustentáveis e eficientes.

Por fim, a disseminação do conhecimento sobre as propriedades e aplicações dos biopolímeros é essencial para seu avanço. Nesse sentido, iniciativas acadêmicas e científicas como as promovidas por Araújo (2020) e Bandeira *et al.* (2021) são fundamentais para consolidar o papel desses materiais em uma economia verde e inovadora.

Os avanços recentes no campo dos biopolímeros demonstram o potencial dessa classe de materiais como catalisadora de transformações tecnológicas e ambientais. A combinação entre inovação, interdisciplinaridade e sustentabilidade tem gerado novas oportunidades de desenvolvimento, ao mesmo tempo em que oferece soluções concretas para problemas socioambientais urgentes.

A produção otimizada, a descoberta de novos compostos e a integração com setores estratégicos como a construção civil e a indústria alimentícia mostram que os biopolímeros não são apenas uma tendência passageira, mas parte de uma mudança estrutural em direção a um futuro mais sustentável e inteligente. As evidências científicas e tecnológicas apontam para um horizonte promissor, onde os biopolímeros serão protagonistas de uma nova revolução verde.

3.5 DESAFIOS E LIMITAÇÕES

A busca por alternativas sustentáveis aos polímeros convencionais derivados do petróleo tem impulsionado a pesquisa e a aplicação de biopolímeros em diversas áreas industriais. No entanto, embora apresentem vantagens ambientais significativas, os biopolímeros ainda enfrentam diversos desafios e limitações que dificultam sua ampla adoção. Entre esses entraves estão os custos de produção, questões relacionadas ao desempenho e durabilidade, a escalabilidade da produção, e as regulamentações e normas vigentes. Este capítulo examina essas limitações à luz da literatura recente.

Um dos maiores entraves para a popularização dos biopolímeros é o alto custo de produção quando comparado aos polímeros sintéticos. Os polímeros derivados do petróleo beneficiam-se de décadas de investimentos industriais, cadeias logísticas otimizadas e ampla escala de produção. Em contrapartida, os biopolímeros ainda são produzidos em escala limitada, o que impacta diretamente no preço final do produto (FARIAS *et al.*, 2016).

Segundo Araújo (2020), os biopolímeros possuem uma estrutura de produção mais complexa, especialmente quando derivados de fontes microbianas ou de resíduos agroindustriais, exigindo condições de fermentação específicas, purificação, e controle rigoroso de variáveis como pH, temperatura e esterilidade. Esses fatores elevam os custos operacionais, o que torna o produto menos competitivo no mercado. Sánchez (2020), ao estudar o pangenoma de *Xanthomonas campestris*, destaca que a produção de goma xantana — um biopolímero de interesse industrial — ainda demanda processos caros e com eficiência limitada, impactando o custo-benefício.

Além disso, conforme apontado por Santos (2021), a disponibilidade limitada de matérias-primas e a instabilidade nos preços de insumos naturais tornam a produção ainda mais volátil, o que compromete a previsibilidade econômica em larga escala.

Outro desafio relevante é a inferioridade, em certos casos, do desempenho mecânico e da durabilidade dos biopolímeros, quando comparados aos plásticos convencionais. Embora alguns biopolímeros apresentem boas propriedades de biodegradabilidade e compatibilidade ambiental, sua resistência térmica, mecânica e química ainda não alcança, em muitos casos, os níveis exigidos por aplicações mais severas, como na construção civil ou na indústria automotiva (CASTRO *et al.*, 2024; PEI *et al.*, 2021).

Castro *et al.* (2024) destacam que os biopolímeros de origem animal, como a gelatina e a quitosana, possuem excelente potencial de aplicação em embalagens e biomateriais, mas apresentam limitações em termos de estabilidade térmica e resistência à umidade. Isso os torna inadequados para ambientes com exposição prolongada à água ou temperaturas elevadas.

Bandeira *et al.* (2024), ao analisarem a aplicação dos biopolímeros na construção civil, enfatizam que ainda há grande dependência de aditivos químicos e reforços com fibras vegetais ou minerais para que os materiais atinjam requisitos mínimos de resistência e durabilidade. Esse fator, além de elevar o custo, compromete o conceito de pureza ecológica que sustenta o apelo dos biopolímeros.

Apesar desses entraves, há perspectivas positivas. De acordo com Pei *et al.* (2021), avanços na nanotecnologia e na engenharia de materiais vêm permitindo a formação de estruturas híbridas e compósitos poliméricos com desempenho aprimorado. A associação de biopolímeros com nanopartículas pode melhorar significativamente suas propriedades, embora os custos ainda sejam um entrave à aplicação em larga escala.

A escalabilidade da produção é um dos aspectos centrais que limitam a difusão dos biopolímeros. Embora existam inúmeros estudos laboratoriais e projetos-piloto promissores, a transição para processos industriais em larga escala é desafiadora. Essa dificuldade decorre de fatores como a disponibilidade de matérias-primas, a instabilidade nos rendimentos de produção microbiológica, e os altos custos de infraestrutura industrial adaptada (BANDEIRA *et al.*, 2021).

Araújo (2020) observa que a ausência de um parque industrial robusto voltado especificamente à produção de biopolímeros dificulta sua inserção nos mercados de grande escala. Ainda segundo a autora, a adaptação de plantas industriais convencionais para processar fontes renováveis exige investimentos elevados, o que representa uma barreira especialmente para países em desenvolvimento.

Além disso, há um aspecto logístico importante. A produção descentralizada de matérias-primas (como resíduos agrícolas ou biomassa florestal) implica a necessidade de coleta, transporte e estocagem adequados, o que encarece a cadeia produtiva. Bandeira *et al.* (2021) ressaltam que, embora o Brasil possua ampla biodiversidade e potencial de biomassa, ainda carece de uma infraestrutura logística e de políticas públicas que incentivem a consolidação de polos regionais de produção biotecnológica.

A literatura também destaca que o uso de cepas microbianas altamente eficientes, como observado no trabalho de Sánchez (2020), pode ser uma via promissora para superar os gargalos produtivos. No entanto, o desenvolvimento dessas cepas requer biotecnologia de ponta e controle rigoroso das variáveis ambientais, além de regulamentações claras sobre o uso de organismos geneticamente modificados.

As normas técnicas e regulamentações vigentes também representam um obstáculo significativo ao avanço dos biopolímeros. Como se trata de um campo relativamente novo, não há uma padronização internacional clara sobre os critérios de qualidade, biodegradabilidade, rotulagem e segurança dos biopolímeros, o que gera insegurança jurídica para os produtores e usuários (VALERO-VALDIVIESO *et al.*, 2013).

De acordo com Araújo (2020), a questão da propriedade intelectual também tem impacto direto no desenvolvimento e comercialização dos biopolímeros. A complexidade dos processos de patenteamento, associada à morosidade dos órgãos reguladores, dificulta o acesso das empresas aos mercados globais. Além disso, muitas inovações acabam ficando restritas a grandes corporações com poder de investimento em pesquisa e registro.

Bandeira *et al.* (2024), em análise patentométrica sobre biopolímeros aplicados à construção civil, observam que grande parte das patentes registradas no Brasil está em nome de empresas multinacionais, o que indica um descompasso entre a capacidade de pesquisa das instituições nacionais e sua efetiva aplicação no mercado. Para os autores, a ausência de incentivos à inovação local e a burocracia excessiva constituem entraves à soberania tecnológica.

Outro ponto crítico é a fiscalização da biodegradabilidade real dos produtos. Segundo Santos (2021), muitos produtos comercializados como “biodegradáveis” não passam por testes padronizados, o que gera desinformação e desconfiança por parte dos consumidores. Essa lacuna evidencia a necessidade de normas mais claras e atualizadas que possam garantir a efetividade ambiental das soluções propostas.

Por fim, há barreiras em relação ao uso de biopolímeros em áreas sensíveis como a saúde e a alimentação. As regulamentações nesses setores são rigorosas, exigindo ensaios toxicológicos, clínicos e ambientais, os quais demandam tempo e

recursos. Isso limita a entrada de novos materiais no mercado e restringe a inovação.

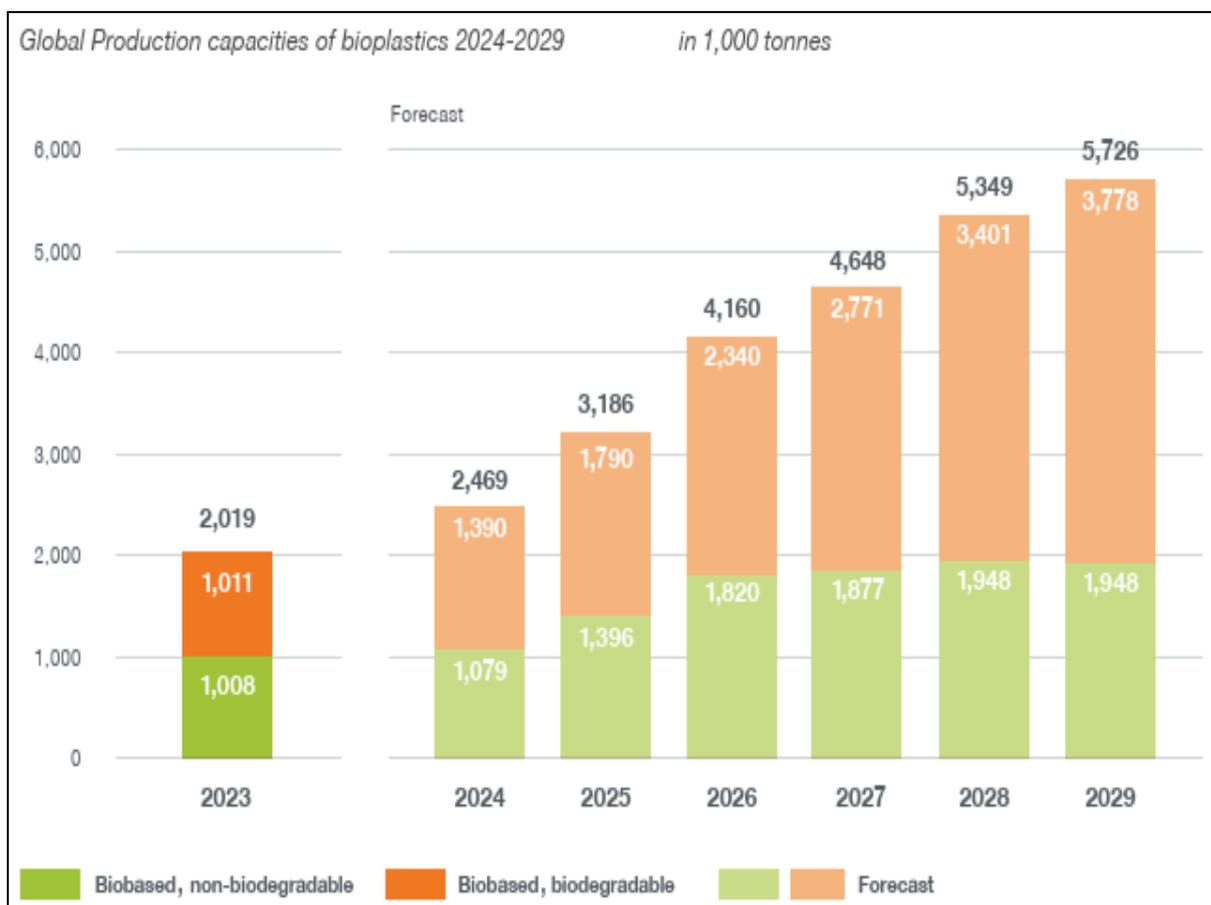
Os biopolímeros representam uma alternativa promissora na busca por um modelo de produção mais sustentável e alinhado aos princípios da bioeconomia. No entanto, para que possam efetivamente substituir os polímeros convencionais, é necessário superar desafios técnicos, econômicos, logísticos e regulatórios. Os custos de produção ainda são altos, o desempenho físico muitas vezes inferior, e a escalabilidade limitada. Além disso, a ausência de marcos regulatórios robustos dificulta a entrada de novos produtos no mercado e restringe a inovação.

Avanços na biotecnologia, investimento em infraestrutura industrial e a construção de uma base normativa sólida são caminhos essenciais para viabilizar a transição para materiais mais sustentáveis. É fundamental que políticas públicas e parcerias entre setor público, academia e indústria sejam fortalecidas para consolidar o papel dos biopolímeros no cenário produtivo global.

3.6 PERSPECTIVAS FUTURAS

Nas últimas décadas, os biopolímeros têm se destacado como uma alternativa sustentável frente aos polímeros sintéticos de origem fóssil, respondendo às crescentes pressões ambientais e à demanda por materiais biodegradáveis. As tendências de mercado apontam para um crescimento robusto nos próximos anos, de acordo com a figura 3.3, impulsionado por políticas públicas de incentivo à economia circular, acordos internacionais de redução de carbono e aumento da conscientização do consumidor. Segundo Santos (2021), o uso de biopolímeros como materiais sustentáveis tende a se expandir em setores como embalagem, construção civil, medicina regenerativa e agricultura.

Figura 3.3 - Perspectiva da capacidade global de produção de bioplástico



Fonte: European Bioplastics (2024), Disponível em: <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics-market-development-update-2024/> (Acesso: 27, março, 2025)

Estudos como o de Bandeira *et al.* (2021) revelam que há um aumento significativo no número de publicações e patentes envolvendo biopolímeros na construção civil, indicando não apenas um crescente interesse acadêmico, mas também a maturação do mercado para adoção tecnológica. A análise patentométrica realizada por Bandeira *et al.* (2024) reforça essa perspectiva, evidenciando um ambiente inovador aquecido, com o aumento de depósitos de patentes voltadas à incorporação de biopolímeros em argamassas, concretos e revestimentos.

Além disso, Araujo (2020) destaca que a proteção da propriedade intelectual associada a biopolímeros vem sendo utilizada como estratégia de diferenciação e posicionamento competitivo por empresas inovadoras. Isso indica que o mercado

está se tornando não apenas receptivo, mas também competitivo, o que reforça a necessidade de investimento contínuo em inovação e desenvolvimento tecnológico.

A análise de Sánchez (2020), ao explorar a biodiversidade microbiana e sua aplicação industrial, aponta para o potencial de cepas microbianas como recurso estratégico para a produção de biopolímeros com propriedades específicas, o que pode impulsionar ainda mais a diversificação e a customização desses materiais conforme a demanda de mercado.

A fronteira da pesquisa em biopolímeros vem se expandindo a passos largos, e áreas promissoras incluem o desenvolvimento de biopolímeros de terceira geração, os estudos sobre nanocompósitos, e a engenharia genética de microrganismos para produção de materiais com propriedades específicas.

Pei *et al.* (2021) discutem o uso de estruturas auto-organizadas em escala nanométrica como blocos construtivos de novos materiais funcionais, sugerindo que o futuro dos biopolímeros pode estar na criação de materiais inteligentes, capazes de responder a estímulos ambientais, como temperatura, pH ou luz. Essa abordagem abre caminhos para aplicações biomédicas avançadas, como sistemas de liberação controlada de fármacos e tecidos artificiais.

Outro campo promissor é a integração de resíduos agroindustriais como matéria-prima, promovendo a valorização de subprodutos e a diminuição de impactos ambientais. De acordo com Castro *et al.* (2024), biopolímeros de origem animal, como colágeno e quitina, têm apresentado excelentes propriedades físico-químicas e compatibilidade biológica, o que amplia sua aplicabilidade em produtos biomédicos, cosméticos e embalagens comestíveis.

Rocha, Silva e Souza (2013) também destacam o potencial lúdico e educativo dos biopolímeros, ao abordarem o conceito de “polímeros de entretenimento”, que une ciência e educação por meio da experimentação com materiais biodegradáveis. Essa vertente, ainda pouco explorada, pode fortalecer a formação científica e ecológica de crianças e jovens.

Para Bandeira *et al.* (2021), a pesquisa futura deve também focar na superação de desafios técnicos, como a baixa resistência térmica e mecânica de alguns biopolímeros, a fim de garantir sua viabilidade em aplicações mais exigentes, como estruturas portantes na construção civil ou peças automotivas.

O potencial de integração dos biopolímeros com outras tecnologias verdes constitui um dos aspectos mais animadores no cenário de transição para uma

economia de baixo carbono. A sinergia entre biotecnologia, nanotecnologia e engenharia de materiais sustentáveis pode gerar soluções inovadoras e de alto valor agregado.

Răut *et al.* (2021) exploram o desenvolvimento de compósitos à base de fungos para uso na construção civil, os quais apresentam vantagens como biodegradabilidade, leveza e isolamento térmico. Esses materiais podem ser combinados com fontes de energia renovável (como células fotovoltaicas) e técnicas de construção passiva para criar edifícios mais eficientes energeticamente e ambientalmente neutros.

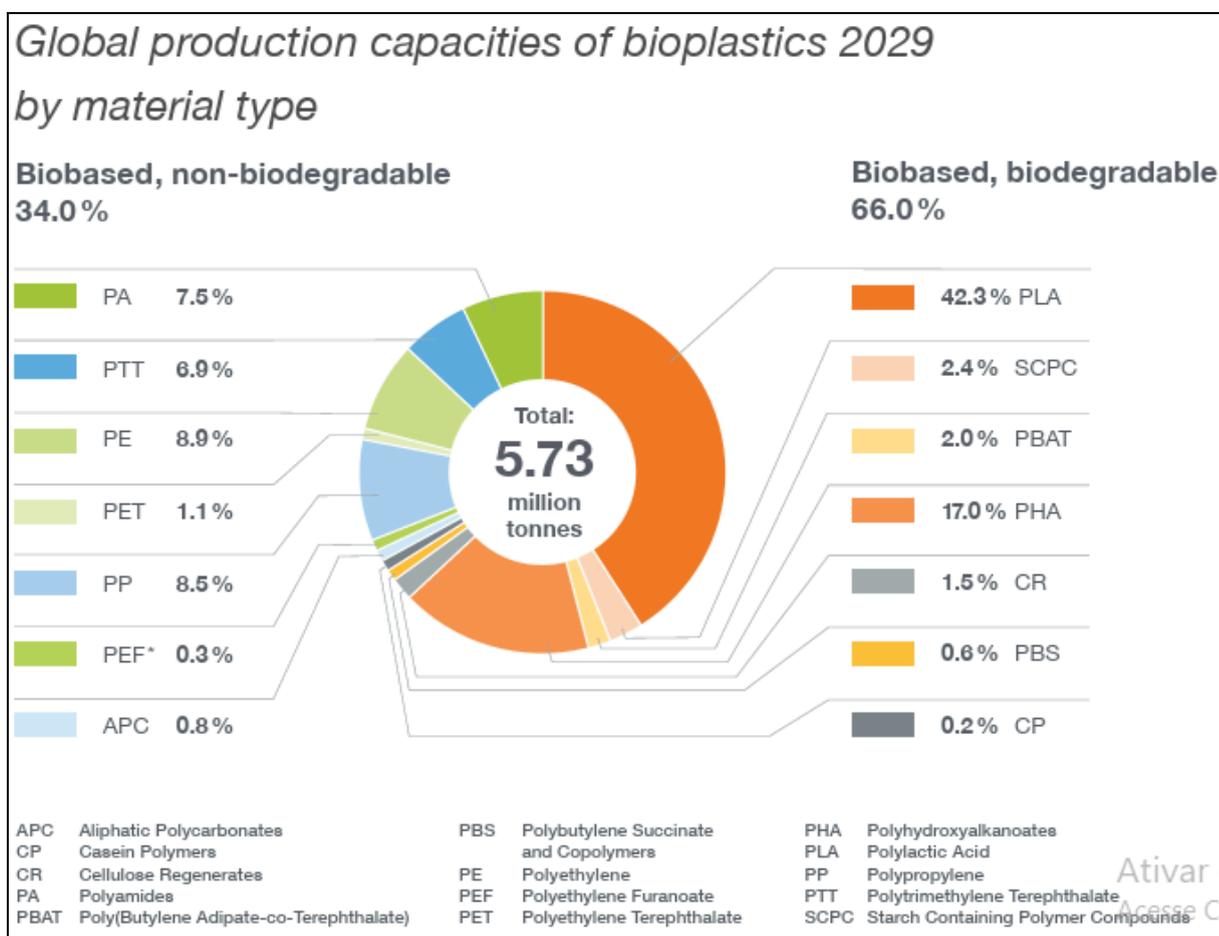
Além disso, Farias *et al.* (2016) destacam que os biopolímeros são elementos centrais em estratégias de desenvolvimento sustentável, pois promovem a substituição de materiais tóxicos e não renováveis, a redução da pegada de carbono e o fortalecimento de cadeias produtivas locais. Sua utilização em embalagens biodegradáveis, por exemplo, pode ser integrada com sistemas de compostagem e logística reversa, fortalecendo práticas de gestão de resíduos sólidos urbanos.

Valero-Valdivieso, Ortegón e Uscátegui (2013) apontam que o avanço na produção de biopolímeros a partir de biomassa de segunda e terceira geração (como algas e resíduos orgânicos) pode reduzir a competição por recursos alimentares e aumentar a eficiência ambiental de sua cadeia produtiva. Combinados a tecnologias de biorrefinaria, os biopolímeros tornam-se peças-chave para o desenvolvimento de produtos “verdes” e economicamente viáveis.

Nesse sentido, a convergência de tecnologias, aliada à economia circular e à bioeconomia, tende a impulsionar novas oportunidades de negócio, especialmente em regiões com grande biodiversidade e disponibilidade de biomassa, como o Brasil. Araujo (2020) enfatiza que a proteção do conhecimento e a formação de redes de cooperação entre universidades, centros tecnológicos e empresas são cruciais para o avanço dessa agenda inovadora.

As perspectivas futuras para os biopolímeros revelam um cenário crescente dinâmico e promissor, marcado por forte expansão de mercado, intensa atividade de pesquisa e crescente integração com outras tecnologias sustentáveis, com destaque para o PLA e o PHA conforme a figura 3.4. A consolidação dos biopolímeros como alternativa viável aos plásticos convencionais dependerá, contudo, de investimentos coordenados em inovação, políticas públicas de incentivo à sustentabilidade, e uma cultura social e empresarial voltada para a responsabilidade ambiental.

Figura 3.4 - Perspectiva da capacidade global de produção de bioplástico por tipo de material



Fonte: European Bioplastics (2024), Disponível em: <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics-market-development-update-2024/> (Acesso: 27, março, 2025)

O papel estratégico dos biopolímeros na construção de uma sociedade mais ecológica, equitativa e tecnologicamente avançada está cada vez mais evidente. Sua capacidade de articular os pilares ambiental, social e econômico do desenvolvimento sustentável torna-os protagonistas de uma nova era industrial — mais limpa, mais eficiente e mais consciente.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo do presente trabalho, foram discutidas as principais tendências, avanços tecnológicos e desafios relacionados ao uso de biopolímeros. Com base na

análise de produções científicas, patentes e estudos recentes, observou-se uma crescente valorização dos biopolímeros como alternativa viável aos materiais sintéticos tradicionais, motivada principalmente pelas exigências ambientais e pela demanda do mercado por soluções sustentáveis.

As análises patentométricas e bibliométricas apresentadas ao longo do trabalho indicaram um aumento expressivo no número de registros de propriedade intelectual e publicações científicas sobre o tema, especialmente nos últimos dez anos. Esse crescimento sinaliza não apenas a relevância científica do tema, mas também seu potencial econômico e comercial. Além disso, verificou-se um maior interesse por parte do setor produtivo, em busca de soluções que integrem desempenho técnico com sustentabilidade.

Outro ponto relevante discutido foi a integração dos biopolímeros com tecnologias verdes emergentes. Essa sinergia pode resultar em cadeias produtivas mais limpas e eficientes, contribuindo para a transição rumo a uma economia circular e de baixo carbono.

Do ponto de vista acadêmico, este trabalho contribui para sistematizar e organizar informações dispersas sobre os avanços e desafios da área, oferecendo uma visão panorâmica e atualizada das pesquisas em biopolímeros.

Na esfera industrial, a pesquisa pode servir como um referencial estratégico para empresas interessadas em investir em materiais biodegradáveis. Ao identificar tendências e áreas promissoras, este trabalho reforça o papel das empresas como agentes de transformação rumo à sustentabilidade. Os dados apresentados também ajudam a compreender o perfil da inovação tecnológica nesse setor, orientando decisões de investimento, parcerias com centros de pesquisa e desenvolvimento de novos produtos.

Apesar dos avanços identificados, ainda existem lacunas que merecem atenção em estudos futuros. Uma delas é a necessidade de aprimoramento das propriedades mecânicas e térmicas de muitos biopolímeros, o que limita sua aplicação em larga escala. Além disso, há necessidade de mais estudos sobre os impactos ambientais do ciclo de vida completo desses materiais, desde a produção da matéria-prima até a degradação final. Tais estudos são essenciais para assegurar que a adoção de biopolímeros realmente represente um ganho ambiental e não apenas uma substituição simbólica de materiais.

Outra área que carece de mais investigação é a escalabilidade da produção. Muitos biopolímeros apresentam resultados promissores em escala laboratorial, mas enfrentam obstáculos quando se tenta aplicá-los em processos industriais de larga escala. Assim, é fundamental investir em pesquisa aplicada, desenvolvimento de tecnologias de processamento e análise de viabilidade econômica para tornar a produção de biopolímeros mais acessível e competitiva.

A interface entre biopolímeros e nanotecnologia também se apresenta como um campo fértil para novas descobertas. As nanoestruturas de biopolímeros podem abrir caminho para materiais com propriedades altamente específicas, com aplicações que vão desde a medicina regenerativa até sensores ambientais. Nesse sentido, estudos multidisciplinares envolvendo ciência dos materiais, engenharia biomédica e biotecnologia podem impulsionar inovações disruptivas.

Por fim, recomenda-se que pesquisas futuras também abordem os aspectos regulatórios, éticos e sociais envolvidos na adoção em massa de materiais biodegradáveis. É necessário compreender como os marcos regulatórios, os incentivos governamentais e a aceitação social podem influenciar a difusão dos biopolímeros, principalmente em países em desenvolvimento. Além disso, o papel da educação e da conscientização ambiental no estímulo ao consumo sustentável deve ser mais explorado como vetor da mudança cultural.

Em síntese, o presente trabalho reafirma que os biopolímeros representam uma solução promissora para diversos desafios contemporâneos, combinando inovação, sustentabilidade e funcionalidade. No entanto, o caminho para sua consolidação exige esforços contínuos em pesquisa, desenvolvimento tecnológico, parcerias público-privadas e políticas de incentivo.

REFERÊNCIAS

- FARIAS, S. S.; SIQUEIRA, S. M. C.; CRISTINO, J. H. S.; ROCHA, J. M. **Biopolímeros: uma Alternativa para Promoção do Desenvolvimento Sustentável.** Revista Geonorte, Edição Especial 5, v.7, n.26, p.61-77, 2016.
- ARAÚJO, Joline Costa Keles. **Estudo de propriedade intelectual sobre biopolímeros.** 2020. Dissertação (Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica) – Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Instituto de Ciências Tecnológicas e Exatas, Uberaba, 2020. Disponível em: <http://bdtd.uftm.edu.br/handle/123456789/1274>. Acesso em: 26 mar. 2025.
- PEI, Y.; WANG, L.; TANG, K.; KAPLAN, D. L. Biopolymer nanoscale assemblies as building blocks for new materials: a review. **Advanced Functional Materials**, v. 31, n. 15, p. 1–30, 2021. <https://doi.org/10.1002/adfm.202008552> DOI: <https://doi.org/10.1002/adfm.202008552>
- SÁNCHEZ, A. **Construcción y análisis del pangenoma de Xanthomonas campestris: una cepa industrial importante en la producción de biopolímeros.** 2020. Dissertação (Mestrado) – Universidad de Antioquia, 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10495/15940>. Acesso em: 26 mar. 2025.
- BANDEIRA, Arilmara Abade; HOLANDA, Francisco Sandro Rodrigues; ANDRADE, Carlos Eduardo Celestino de; SANTOS, Luiz Diego Vidal. Análise patentométrica sobre as inovações que têm como base o uso de biopolímeros pela construção civil. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, [S. l.], v. 5, n. 11, p. e5115934, 2024. DOI: 10.47820/recima21.v5i11.5934. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/5934>. Acesso em: 27 mar. 2025.
- CASTRO, S. C. de; SOARES, N. B.; ROCHA, M. dos S.; FIGUEIREDO, P. H. B.; FREITAS, R. de C. R. Q. de; MEDEIROS, T. K. S. de; LEAL, I. A. C. BIOPOLÍMEROS DE ORIGEM ANIMAL: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E APLICAÇÕES. **Revista Contemporânea**, [S. l.], v. 4, n. 9, p. e5922, 2024. DOI: 10.56083/RCV4N9-191. Disponível em: <https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/view/5922>. Acesso em: 27 mar. 2025.
- SANTOS, J. D. A. Biopolímeros aplicados a sustentabilidade: uma revisão de literatura. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v. 2, 2021 DOI: <https://doi.org/10.51189/rema/106> DOI: <https://doi.org/10.51189/rema/1060>
- RĂUT, I.; CĂLIN, M.; VULUGA, Z.; OANCEA, F.; PACEAGIU, J.; RADU, N.; DONI, M.; ALEXANDRESCU, E.; PURCAR, V.; GURBAN, A. M.; PETRE, I.; JECU, L. **Fungal based biopolymer composites for construction materials.** Materials, v. 14, n. 11, 2021. <https://doi.org/10.3390/ma14112906> DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14112906>

BANDEIRA, A. A.; UBIRAJARA, W. M.; HOLANDA, F. S. R.; ANDRADE, C. E. C.; SANTOS, L. D. V. Análise bibliométrica sobre o uso de biopolímeros pela indústria da construção civil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. 1-16, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i4.14025. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i4.14025>. Acesso em: 26 mar. 2025.

SANT'ANA, Tomás Dias et al. Plano de Desenvolvimento Institucional – PDI: um guia de conhecimentos para as Instituições Federais de Ensino. Alfenas: FORPDI, 2017. 130 p. il. PDF.

ROCHA, C. A.; SILVA, E. F.; SOUZA, R. C. C. **Polímero de entretenimento**: uma macromolécula biodegradável. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Bacharelado em Química) – Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UNISALESIANO, Lins – SP – 2013.

VALERO-VALDIVIESO, M. F.; ORTEGÓN, Y.; USCATEGUI, Y. **Biopolímeros**: avances y perspectivas. DYNA (Colombia), v. 80, n. 181, p. 171–180, 2013.

europeanbioplastics. (2024). Disponível em: <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics-market-development-update-2024/>. Acesso em: 27 mar. 2025.