



TENDÊNCIAS E APLICAÇÕES DA CELULOSE BACTERIANA NA INDÚSTRIA E NA ÁREA BIOMÉDICA

JOSÉ LÁZARO DA SILVA FERNANDES; HELEN CAROLINE SILVA DE MEDEIROS;
LAIO FELIPE RANGEL DA COSTA ALVES; MÉRCIA MELO DE ALMEIDA MOTA;
PEDRO TÉRCIO NÓBREGA DE FARIA

RESUMO

A celulose, um biopolímero renovável, é tradicionalmente extraída de plantas, mas recentemente também começou a ser produzida por bactérias, incluindo o gênero *Komagataeibacter*. Embora a celulose vegetal, seja largamente comercializada, apresenta desafios ambientais e exigências na extração, com isso, a celulose bacteriana tem despertado interesse científico e industrial devido às suas propriedades singulares, como resistência mecânica e biocompatibilidade. Sua produção, realizada por diversas espécies bacterianas, oferece oportunidades variadas de aplicação, desde biossensores até embalagens inteligentes. A celulose bacteriana possui aplicações diversificadas, inclusive na área biomédica, como curativos para feridas, regeneração tecidual e até órgãos artificiais. Além disso, é utilizada na indústria alimentícia como estabilizante e reforço em embalagens para aumentar a resistência e diminuir a permeabilidade. A sua síntese por fermentação estática ou agitada gera morfologias e propriedades distintas no biomaterial. Embora a fermentação agitada seja mais viável industrialmente, a estática oferece celulose de maior resistência e cristalinidade. Estratégias custo-efetivas, incluindo fontes alternativas de carbono e nitrogênio, são exploradas para a produção industrial. Apesar das dificuldades na produção em larga escala, como custos elevados e baixa produtividade, avanços na manipulação genética de cepas bacterianas prometem melhorar a eficiência. Com base nas análises desses aspectos, o artigo oferece uma visão abrangente das tendências emergentes e das possíveis aplicações da celulose bacteriana, apontando para um futuro promissor e versátil tanto na indústria quanto na área biomédica.

Palavras-chave: Biomaterial; Sustentabilidade; Produção Industrial; Engenharia de Tecidos.

1 INTRODUÇÃO

A celulose é o mais abundante e um dos mais importantes biopolímeros renováveis da Terra. Extraída principalmente de plantas, a celulose pode também ser produzida por algas marinhas, musgos, animais marinhos como os tunicados e por bactérias, em especial as pertencentes ao gênero *Komagataeibacter* (Chen *et al.*, 2020; Oliveira-Alcantara *et al.*, 2020; He *et al.* 2020; Rovera *et al.*, 2020; Lima *et al.*, 2015).

Embora a celulose obtida de fontes vegetais (Raven; Evert; Eichhorn, 2007; Silva, 2012) já seja largamente comercializada, problemas associados a questões ambientais estimulam a busca de novas fontes sustentáveis de produção. A celulose vegetal se encontra usualmente associada a outros biopolímeros, como hemicelulose e lignina, de tal modo que sua extração geralmente requer a utilização de produtos químicos corrosivos, prejudiciais ao ambiente e responsáveis por maiores custos e tempo de processamento (Gea *et al.*, 2011;

Pecoraro et al., 2008; Sun, 2008). Tais fatores reduzem o leque de aplicações da celulose vegetal e limitam seu uso em áreas mais específicas como, por exemplo, a biomédica.

Nas últimas décadas, essa celulose tem atraído a atenção da comunidade científica por apresentar propriedades únicas, como elevada resistência mecânica, biocompatibilidade e capacidade de absorção de água, além da possibilidade de ser moldada em estruturas tridimensionais durante a sua síntese. Tais características fazem desse biopolímero um material promissor para uma vasta gama de aplicações tecnológicas (Gama; Gatenholm; Klemm, 2012; Lee *et al.*, 2014; Shah *et al.*, 2013; Shi *et al.*, 2014).

A celulose bacteriana é considerada um material promissor para diversas áreas e aplicações, como enquanto suporte para a produção de biossensores para detecção de glicose, plataformas multifuncionais para a síntese de materiais, aproveitamento de resíduos agroindustriais, na produção de alimentos como nata de coco e bebida kombucha, na produção de embalagens inteligentes (smart packages), em aplicações cosméticas na forma de máscaras faciais, em aplicações biomédicas na forma de curativos para feridas e queimaduras e na liberação controlada de fármacos, e na engenharia de tecidos duros como o osso e de tecidos moles como revestimento de vasos sanguíneos (Sousa *et al.*, 2021)

O avanço contínuo na pesquisa e aplicação da celulose bacteriana representa um campo promissor tanto na indústria quanto na área biomédica. Este artigo busca explorar as tendências emergentes e as diversas aplicações desse biopolímero versátil e sustentável.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi feita uma revisão de literatura objetivando a identificação de estudos relevantes e atualizados sobre o tema em questão. A busca foi feita em bases de dados eletrônicas, como o "Google Acadêmico", "Scielo", e a "Biblioteca Virtual em Saúde" publicados nos períodos de 2009 a 2023.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A celulose bacteriana pode ser biossintetizada por várias espécies de bactérias pertencentes aos gêneros: *Acetobacter*, *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Azotobacter*, *Escherichia*, *Komagataeibacter ex. Gluconacetobacter* (Yamada *et al.*, 2012), *Pseudomonas*, *Rhizobium* e *Sarcina* (Huang *et al.*, 2014; Hassan *et al.*, 2015).

A produção dessa celulose pode ser alcançada por fermentação estática e agitada, cada uma resultando em diferentes morfologias e propriedades no biomaterial. Na fermentação estática, filmes gelatinosos tridimensionais são formados na interface ar-líquido, enquanto a fermentação agitada gera pellets irregulares suspensos no meio de cultivo. Embora a fermentação agitada seja mais escalável para a produção industrial, a estática oferece estabilidade genética, embora possa levar a mutações não benéficas. A celulose bacteriana da fermentação estática exhibe maior cristalinidade, resistência mecânica e requer matérias-primas específicas. Os custos elevados de produção estimulam estudos para estratégias custo-efetivas, incluindo otimização de cepas, engenharia genética e condições de cultura. Diversas fontes de carbono e nitrogênio, bem como resíduos agrícolas, são explorados para a produção, promovendo o desenvolvimento de alternativas economicamente viáveis para sua fabricação industrial (Lahiri *et al.*, 2021).

Conforme demonstrado na Tabela 1, retirada do trabalho de Donini *et al.* (2010), são destacadas diversas aplicações da celulose bacteriana, abrangendo desde a indústria de cosméticos até a produção de energia. Isso evidencia sua versatilidade e ampla gama de usos industriais.

Tabela 1.Aplicações da Celulose Bacteriana

Área	Aplicação
Cosméticos	Estabilizador de emulsões: cremes tônicos, condicionadores, polidores de unha...
Indústria têxtil	Roupas para esportes, tendas e equipamentos de camping
Mineração e refinaria	Esponjas para coleta de vazamento de óleo, materiais para absorção de toxinas
Tratamento de lixo	Reciclagem de minerais e óleos
Purificação de esgotos	Purificação de esgotos urbanos, ultrafiltração de água
Comunicações	Diafragmas para microfones e fones estéreos
Alimentos	Celulose comestível (nata de coco)
Indústria de papel	Substituição de madeira, papéis especiais
Medicina	Pele artificial temporária para queimaduras e úlcera, componentes de implantes dentários
Laboratórios	Imobilização de proteínas de células, técnicas cromatográficas, meio para cultura de tecidos
Eletrônica	Materiais opto-eletrônicos (telas de cristal líquido, suporte para OLED)
Energia	Membranas células combustível (paládio)

Fonte: Donini *et al.* (2010)

UI-Islam *et al.* (2015) enumeraram diversas aplicações tecnológicas da membrana de celulose bacteriana, como, por exemplo, desenvolvimento de papéis eletrônicos, displays, LEDs e vários dispositivos óptico-eletrônicos, além da utilização na cicatrização de feridas, regeneração tecidual e desenvolvimento de órgãos artificiais. A Embrapa (2019), cita a produção em larga escala de celulose bacteriana pela Johnson & Johnson em 1980, posteriormente a empresa Xylos utilizou o biopolímero para manufatura da XCell®, utilizado no tratamento de fermentos. A principal fabricante de membranas de celulose bacteriana no Brasil é a Bionext Produtos Biotecnológicos Ltda., que comercializa membranas para tratamento de feridas na pele e queimaduras. Além do Brasil, Canadá, EUA e Japão, também comercializam membranas de celulose bacteriana.

A aplicação desse biomaterial na forma de biocurativos foi uma das primeiras aplicações biomédicas para a qual foi destinada a celulose bacteriana. De acordo com Oliveira Barud *et al.* (2016), Fontana e colaboradores (1990) foram os pioneiros a sugerir a aplicação da celulose bacteriana na forma de curativos para queimaduras da pele. A partir de então, só tem aumentado o número de publicações que investigam o uso da celulose bacteriana como cobertura temporária para o tratamento de feridas causadas por abrasões, lacerações, queimaduras de segundo grau, feridas diabéticas, entre outras.

As aplicações dessa celulose vão muito além do campo biomédico. Na indústria alimentícia, a celulose bacteriana é muito utilizada como gomas para para estabilização de espumas espessantes e gelificação de soluções aquosas, emulsões e dispersões, tal qual, impossibilitar a formação de cristais de gelo e açúcar (Dourado *et al.*, 2016). É utilizada também como nano reforço para embalagens de alimentos com objetivo de aumentar a resistência a temperatura, a transparência e diminuir a permeabilidade da água e dos gases nos filmes compostos de amidos e poliácido láctico (Fernandes, 2019).

No campo da eletrônica, foram desenvolvidas membranas com alta condutividade elétrica e dispositivos emissores de luz por meio da incorporação de metais na estrutura da celulose. Algumas das membranas foram modificadas com paládio e platina para serem utilizadas em células de combustível e de reatores catalíticos (Pineda; Mesa; Riascos, 2012).

As principais dificuldades da produção de celulose bacteriana estão associadas ao alto custo do meio de cultivo e à baixa produtividade em escala industrial, que estimula o desenvolvimento de inúmeras pesquisas em busca de fontes alternativas. Entretanto, a manipulação genética de cepas de microrganismos produtores de celulose visando o aumento da produtividade tem ganhado destaque. Jacek *et al.* (2019) relataram a descoberta de MotA e MotB, genes aparentemente envolvidos na motilidade de uma estirpe de *Komagataeibacter* produtora de celulose. A manipulação genética de *K. xilinus* ocasionou mudanças significativas na espessura da fibra de nanocelulose bacteriana e no arranjo espacial, também relataram maior durabilidade à resistência na compressão da celulose, sem modificação química ou mecânica (Embrapa, 2019).

4 CONCLUSÃO

Pode-se concluir, com base na revisão bibliográfica, que a celulose bacteriana vem emergindo como um biopolímero versátil e sustentável, despertando interesse crescente na comunidade científica e em diversos setores industriais. Sua produção por várias espécies de bactérias oferece oportunidades de aplicação diversificada, desde biossensores até embalagens inteligentes, e seu potencial na área biomédica é vasto, abrangendo curativos para feridas, regeneração tecidual e até mesmo o desenvolvimento de órgãos artificiais. Apesar das dificuldades associadas à produção em larga escala, como altos custos e baixa produtividade industrial, avanços na manipulação genética e exploração de fontes alternativas mostram promessas significativas para aprimorar a eficiência e viabilidade econômica da produção de celulose bacteriana. A busca por estratégias custo-efetivas e o desenvolvimento de métodos de produção inovadores estão impulsionando ainda mais o campo, vislumbrando um futuro promissor para esse material em constante evolução. O entendimento crescente das propriedades únicas da celulose bacteriana e suas aplicações multifacetadas aponta para um cenário onde este biopolímero não só amplia as possibilidades na indústria, mas também representa uma peça fundamental no avanço das soluções biomédicas, trazendo um compromisso crescente com a sustentabilidade e a inovação tecnológica.

REFERÊNCIAS

Barbosa, R. *et al.* Celulose bacteriana para aplicações biomédicas: uma prospecção tecnológica. **Trabalhos nas áreas de fronteiras da química**, p. 63–87, 22 fev. 2021.

Barud, H. S. *et al.* Bacterial Cellulose. **Biomaterials from Nature for Advanced Devices and Therapies**, p. 384–399, 14 out. 2016.

Carreño Pineda, L. D. Caicedo Mesa, L. A. C. M. Martinez Riascos, C. A. Técnicas de fermentação e aplicações de celulose bacteriana: uma revisão. **Ingeniería y Ciencia**, v. 8, n. 16, p. 307–335, 30 nov. 2012.

Chen, S.-Q. *et al.* Effect of lyophilization on the bacterial cellulose produced by different *Komagataeibacter* strains to adsorb epicatechin. **Carbohydrate Polymers**, v. 246, p. 116632, 15 out. 2020.

Donini, Í. A. N. *et al.* Biossíntese e recentes avanços na produção de celulose bacteriana.

Eclética Química, v. 35, n. 4, p. 165–178, 2010.

Dourado, F. *et al.* Celluloses as Food Ingredients/Additives: Is There a Room for BNC? **Bacterial Nanocellulose**, p. 123–133, 2016.

Embrapa, **Celulose bacteriana: propriedades, meios fermentativos e aplicações**. Documento 186. Fortaleza, 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/197530/1/DOC19001.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2023.

Embrapa, **Produção de celulose bacteriana e suas aplicações**. Documento 141. Rio de Janeiro, 2021. Disponível: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/224312/1/DOC-141-celulose-bacteriana-pronto.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2023.

Fernandes, I. A. A. **Desenvolvimento de biofilme de celulose bacteriana enriquecido com compostos bioativos de origem vegetal e colágeno hidrolisado**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2019.

Fontana, J. D. *et al.* Acetobacter cellulose pellicle as a temporary skin substitute. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 24-25, n. 1, p. 253–264, mar. 1990.

Gama, F. M.; Gatenholm, P.; Klemm, D. **Bacterial NanoCellulose**. [s.l.] Informa, 2013.

GEA, S. *et al.* Investigation into the structural, morphological, mechanical and thermal behaviour of bacterial cellulose after a two-step purification process. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 19, p. 9105–9110, 1 out. 2011.

Hassan, E. *et al.* The Characterization of Bacterial Cellulose Produced by Acetobacter xylinum and Komagataeibacter saccharovorans under Optimized Fermentation Conditions. **British Microbiology Research Journal**, v. 9, n. 3, p. 1–13, 10 jan. 2015.

He, X. *et al.* Novel bacterial cellulose membrane biosynthesized by a new and highly efficient producer Komagataeibacter rhaeticus TJPU03. **Carbohydrate Research**, v. 493, p. 108030, jul. 2020.

Huang, Y. *et al.* Recent advances in bacterial cellulose. **Cellulose**, v. 21, n. 1, p. 1–30, 27 out. 2013.

Jacek, P.; Ryngajłło, M.; Bielecki, S. Structural changes of bacterial nanocellulose pellicles induced by genetic modification of Komagataeibacter hansenii ATCC 23769. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 103, n. 13, p. 5339–5353, 29 abr. 2019.

Lahiri, D. *et al.* Bacterial Cellulose: Production, Characterization, and Application as Antimicrobial Agent. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 23, p. 12984, 30 nov. 2021.

Lee, K.-Y. *et al.* More Than Meets the Eye in Bacterial Cellulose: Biosynthesis, Bioprocessing, and Applications in Advanced Fiber Composites. **Macromolecular Bioscience**, v. 14, n. 1, p. 10–32, 30 jul. 2013.

Lima, L. R. *et al.* CELLULOSE NANOCRYSTALS FROM BACTERIAL CELLULOSE. **Química Nova**, v. 38, n. 9, 2015.

Mazhar Ul-Islam *et al.* Synthesis, Chemistry, and Medical Application of Bacterial Cellulose Nanocomposites. **Advanced structured materials**, p. 399–437, 1 jan. 2015.

Oliveira-Alcantara, A. V. *et al.* Bacterial cellulose/cashew gum films as probiotic carriers. **LWT**, v. 130, p. 109699, 1 ago. 2020.

Pecoraro, E. *et al.* **Bacterial Cellulose from Glucanacetobacter xylinus: Preparation, Properties and Applications.** p. 369–383, 1 dez. 2008.

Pineda, L. D. C.; Mesa, L. A. C.; Riascos, C. A. M. Técnicas de fermentación y aplicaciones de la celulosa bacteriana: una revisión. **Ingeniería y Ciencia**, Medellín, v. 8, n. 16, p. 307-335, 2012.

Raven, P. H.; Evert, R. F. Eichhorn, S. E. **Biologia vegetal**. 7. ed. Rio de Janeiro

Rovera, C. *et al.* Enzymatic Hydrolysis of Bacterial Cellulose for the Production of Nanocrystals for the Food Packaging Industry. **Nanomaterials**, v. 10, n. 4, p. 735, 11 abr. 2020.

Shah, N. *et al.* Overview of bacterial cellulose composites: A multipurpose advanced material. **Carbohydrate Polymers**, v. 98, n. 2, p. 1585–1598, nov. 2013.

Shi, Z. *et al.* Utilization of bacterial cellulose in food. **Food Hydrocolloids**, v. 35, p. 539–545, mar. 2014.

Silva, T. R. S. **Desenvolvimento de hidrogéis de celulose bacteriana para cultura de células e permeação de biomoléculas.** 2012. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/103444>. Acesso em: 25 nov. 2023.

Sousa, Ricardo Barbosa de *et al.* CELULOSE BACTERIANA PARA APLICAÇÕES BIOMÉDICA: UMA PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA. In: **TRABALHOS nas Áreas de Fronteira da Química**. [S. l.]: Atena, 2021. cap. 6, p. 64-87.

Sun, R. C. Detoxification of biomass of bioethanol. **Bioresources**, Raleigh, v. 4, n. 2, p. 452-455, 2008.

Yamada, Y. *et al.* Subdivision of the genus Gluconacetobacter Yamada, Hoshino and Ishikawa 1998: the proposal of Komagatabacter gen. nov., for strains accommodated to the Gluconacetobacter xylinus group in the α -Proteobacteria. **Annals of Microbiology**, v. 62, n. 2, p. 849-859, 1 jun. 2012.