

## Adsorvente biodegradável de nanocelulose bacteriana para remoção do azul de metileno: Uma abordagem da Iniciativa Amazônia +10

### Bacterial nanocellulose biodegradable adsorbent for methylene blue removal: An approach from the Amazon +10 Initiative

Ingrid Soares Xavier<sup>1</sup>, Giovanna Ayumi Matuoka Fukuda<sup>2</sup>, João Pedro Maximino Gongora Godoi<sup>3</sup>, Paula Fernandes Montanher<sup>4</sup>, Samara Silva de Souza<sup>5</sup>

#### RESUMO

A água é um elemento vital para a vida, sendo o recurso mais precioso do nosso planeta. A região amazônica, que possui uma das bacias hidrográficas mais importantes globalmente, enfrenta problemas de exclusão social e doenças de veiculação hídrica em algumas microrregiões, impossibilitando o desenvolvimento socioeconômico local. A Iniciativa Amazônia+10 busca ajudar comunidades ribeirinhas da região Amazônica e do Pará, através do abastecimento energético e qualidade de água. A Nanocelulose Bacteriana (NCB), um polímero natural, é uma escolha promissora como um biomaterial adsorvente para o tratamento de águas, devido as suas características como biodegradabilidade, elevada porosidade, alta capacidade de retenção de água, alta cristalinidade e resistência mecânica. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar e desenvolver filtros a base de NCB para adsorção de corante, um dos principais contaminantes emergentes em rios da região. A NCB foi obtida através da síntese da bactéria *Komagataeibacter xylinus*, e após a NCB foi purificada, liofilizada, moída e definida a granulometria para a montagem de uma coluna em escala piloto. Em conclusão, o sistema de filtragem foi eficiente na adsorção do azul de metileno, uma vez que envolveu atração eletrostática, troca catiônica e interações de ligações de hidrogênio, visto a estrutura da NCB e do corante.

**PALAVRAS-CHAVE:** Azul de metileno, Adsorção, Nanocelulose bacteriana, Tratamento de águas.

#### ABSTRACT

Water is a vital element for life and is the most precious resource on our planet. The Amazon region, which has one of the most important river basins globally, faces problems of social exclusion and water-borne diseases in some micro-regions, making local socio-economic development impossible. The Amazônia+10 Initiative seeks to help riverside communities in the Amazon region and Pará, through energy supply and water quality. Bacterial nanocellulose (BCN), a natural polymer, is a promising choice as an adsorbent biomaterial for water treatment, due to its characteristics such as biodegradability, high porosity, high water retention capacity, high crystallinity and mechanical resistance. The aim of this study was to evaluate and develop NCB-based filters for the adsorption of dye, one of the main emerging contaminants in rivers in the region. The NCB was obtained through the synthesis of the bacterium *Komagataeibacter xylinus*, after which it was purified, freeze-dried, ground and the particle size defined for the assembly of a pilot-scale column. In conclusion, the filtration system was efficient in adsorbing methylene blue, since it involved electrostatic attraction, cation exchange and hydrogen bonding interactions, given the structure of NCB and the dye.

**KEYWORDS:** Methylene blue, Adsorption, Bacterial nanocellulose, Water treatment.

1 Bolsista-voluntário. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil. E-mail: [ingridxavier@alunos.utfpr.edu.br](mailto:ingridxavier@alunos.utfpr.edu.br) ID Lattes: 1797392551660069

2 Bolsista-voluntário. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil. E-mail: [giovannaayumi@alunos.utfpr.edu.br](mailto:giovannaayumi@alunos.utfpr.edu.br) ID Lattes: 4078419294077657.

6 Bolsista-voluntário. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil. E-mail: [jgodoi@alunos.utfpr.edu.br](mailto:jgodoi@alunos.utfpr.edu.br) ID Lattes: 26734575128739691

7 Docente no Curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil. E-mail: [paulamontanher@utfpr.edu.br](mailto:paulamontanher@utfpr.edu.br) ID Lattes: 7565400427188557

8 Docente no Curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil. E-mail: [samarasouza@utfpr.edu.br](mailto:samarasouza@utfpr.edu.br) ID Lattes: 6497095708045068.

## INTRODUÇÃO

A região Norte do Brasil possui uma das maiores reservas de água do país, entretanto, a falta de acesso à água potável é fator agravante de vulnerabilidade social e econômica. Microrregiões da Amazônia e do Pará, são consideradas como uma das piores do país em termos de acesso a sistemas de saneamento básico adequado. Muitas comunidades ribeirinhas sofrem com a escassez de água adequada para consumo, sendo um dos agravantes a contaminação dos rios gerada por atividades humanas e industriais (DE JESUS et al., 2023; LO PRESTI MENDONÇA et al., 2023).

Os corantes são um desses contaminantes emergentes, e são utilizados em diversas áreas, incluindo curtumes, alimentos, cosméticos, setores medicinais e, principalmente, setor têxtil. Quando descartados, os corantes conferem uma coloração intensa nas águas, e suas consequências podem ser hemorragias, ulcerações na pele, náuseas, irritações severas na pele, dermatites e até mesmo a morte em humanos (VELUSAMY et al., 2021). Dessa forma, é imprescindível o tratamento de águas contendo esse tipo de contaminante.

Diversos métodos têm sido estudados para a remoção de corantes de águas residuais, incluindo técnicas como eletrocoagulação, ozonização, eletrólise e degradação fotocatalítica. Entretanto, é possível notar que muitos desses processos não são economicamente viáveis (WALLING et al., 2023). A nanotecnologia de adsorção ganha destaque por ser um método promissor para a purificação da água devido à sua simplicidade, custo reduzido e à possibilidade de reciclagem dos nanomateriais adsorventes (LEUDJO TAKA et al., 2021). Nesse contexto, a Nanocelulose Bacteriana (NCB), um polímero natural produzido pela síntese de bactérias do gênero *Komagataeibacter* tem despertado o interesse da comunidade científica devido às suas notáveis propriedades, como biodegradabilidade, alta porosidade, alta capacidade de retenção de água e excelentes propriedades mecânicas. Além disso, possui também grupos hidroxila reativos, tornando-o excelente para funcionalização de superfície em uma gama de aplicações (JACEK et al., 2021; YAMADA et al., 2012).

Walling e colaboradores (2023) destacam em seu trabalho mecanismo dos adsorventes baseados em NCB para o tratamento de águas residuais, especificamente como adsorventes de corantes e metais pesados (WALLING et al., 2023). O desempenho de membranas compostas de NCB também já foi avaliado para a remoção de corantes orgânicos, uma vez que as membranas para remoção desses contaminantes exigem a tecnologia de nanofiltração.

Esse trabalho faz parte do projeto "Amazônia Sustentável – Promovendo a inclusão social pelo acesso à energia elétrica e água de qualidade de comunidades locais amazônicas" da INICIATIVA AMAZÔNIA +10, tendo como produto entregável o "Kit Amazônia", que será acessível (*low-cost*), de fácil manuseio (DIY), customizável e expansível (adaptável ao tipo de captação de H<sub>2</sub>O, local e porte), e irá usar materiais locais/regionais para ser de baixo impacto ambiental.

Desta forma, o presente trabalho estudou e avaliou o potencial da NCB como material adsorvente do corante azul de metileno. Desenvolver a NCB na forma seca e avaliar suas propriedades de barreira é um passo para estabelecer esse material como um concorrente entre outros filtros comerciais, que ainda não foram adequadamente explorados.

## MATERIAIS E METODOLOGIA

## MEIO DE CULTURA

O meio de cultivo Hestrin-Schramm (HS) foi elaborado com a composição de 20 g/L de glicose ( $C_6H_{12}O_6$ ), 5 g/L de extrato de levedura, 5 g/L de peptona bacteriológica, 2,7 g/L de fosfato dissódico ( $Na_2HPO_4$ ) e 1,15 g/L de ácido cítrico ( $C_6H_8O_7$ ) (HESTRIN; SCHRAMM, 1954).

## REATIVAÇÃO DA CEPA BACTERIANA

As cepas de *Komagataeibacter xylinus* (ATCC® 53524™) foram preservadas em glicerol (20%) a  $-80^\circ C$ . Para reativação utilizou-se cerca 1 mL ao qual 100  $\mu L$  foram inoculados em placas contendo meio HS sólido para obtenção de colônias (placa de manutenção). O restante da alíquota foi transferido em um tubo falcon contendo 4 mL de meio HS, em seguida, incubado em estufa B.O.D a  $28^\circ C$  e mantido em cultura estática durante sete dias.

## PREPARO DO INÓCULO BACTERIANO, PRODUÇÃO E PURIFICAÇÃO DA NCB

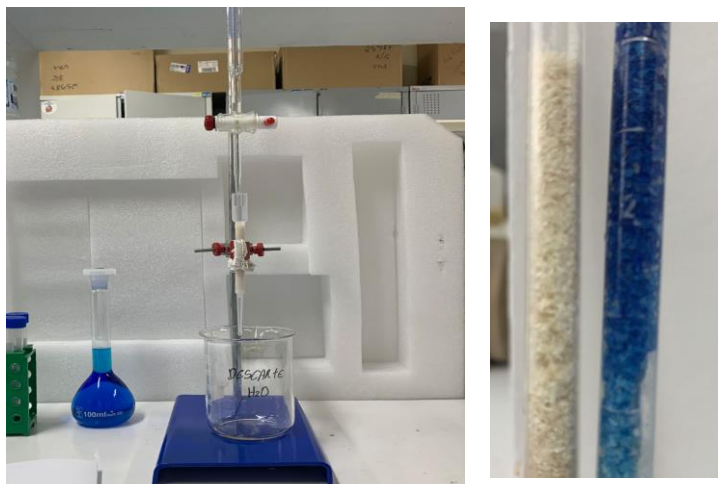
O preparo do inóculo utilizando a cepa de *Komagataeibacter xylinus* (ATCC® 53524™) em meio HS consistiu no aumento do volume da reativação na proporção de 10% (v/v) do volume final. As membranas de NCB foram sintetizadas em meio HS utilizando-se erlenmeyers de 1L e incubadas em estufa B.O.D a  $28^\circ C$  de modo estático durante quinze dias para obter uma alta produção de NCB. Após o período de incubação, as membranas foram purificadas com uma solução de hidróxido de sódio (0,1 M) a  $50^\circ C$  em estufa durante 24 horas. Posteriormente, as membranas foram lavadas com água destilada até o pH atingir a neutralidade e autoclavadas por 20 minutos a  $121^\circ C$ .

## PADRONIZAÇÃO DAS MEMBRANAS E MONTAGEM DO SISTEMA DE FILTRAÇÃO

Para a montagem do módulo filtrante, as membranas de NCB foram previamente secas em liofilizador, em seguida, trituradas de forma fracionada com uso de um moinho analítico. Posteriormente, foi realizado o processo de separação granulométrica utilizando-se de peneiras granulométricas de 20, 60, 80 e 100 mesh.

Após a montagem do módulo filtrante, foi desenvolvido um sistema de filtração a nível de bancada para ensaios de adsorção conforme a Figura 1. Inicialmente, foi adaptado a parte superior de uma pipeta de Pasteur para que fosse utilizada como um cartucho de filtração, possuindo 3 cm de altura. Neste cartucho foram inseridos cerca de 0,5 g de NCB secas e moídas numa granulometria de 60 mesh.

Figura 1 – Montagem do Sistema de filtração e a Coluna antes e após o corante.



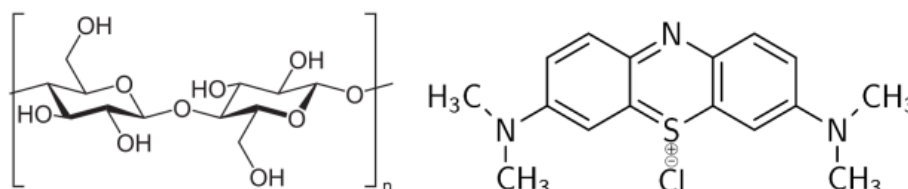
Fonte: Autoria própria (2023)

O teste de coluna em leito fixo contínuo foi realizado utilizando-se azul de metileno na concentração de 15 mg/mL. Deste modo, a solução foi mantida em uma bureta ao qual permitiu uma vazão constante sob a coluna filtrante, sendo cronometrado o tempo de passagem da solução a cada amostra retirada. Ao todo, foram coletadas quatorze amostras filtradas a cada 5 mL percorridos. A solução controle e os pontos coletados foram analisados por varredura no espectrofotômetro UV-VIS (ThermoFisher) de 400nm até 800nm, uma vez que o azul de metileno apresenta um pico em 664nm.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

As tecnologias de membrana, como a microfiltração, a ultrafiltração e a nanofiltração, são cada vez mais usadas para o tratamento e a purificação de águas residuais, bem como para o fornecimento de água limpa. No entanto, as membranas mais disponíveis comercialmente são feitas com polímeros sintéticos de origem fóssil, que exigem grandes quantidades de solventes e produtos químicos. Nesse estudo foi possível avaliar o potencial da NCB pura como filtro para a remoção de azul de metileno. O teste em um sistema de coluna filtrante tornou evidente a boa interação entre a NCB, que possui grupos iônicos negativos, e o azul de metileno, que possui grupos iônicos positivos, justificando a atratividade eletrostática entre as moléculas (Figura 2).

Figura 2 - Estrutura molecular da celulose e do azul de metileno



Fonte: (BAZZANELLA, 2021)

A Figura 3 mostra a solução controle de corante seguido das amostras coletadas durante a filtração. É evidente que a NCB foi capaz de adsorver o azul de metileno na

coluna montada no experimento por aproximadamente uma hora. Estudos futuros serão realizados para avaliar a cinética de adsorção e a capacidade de saturação da NCB.

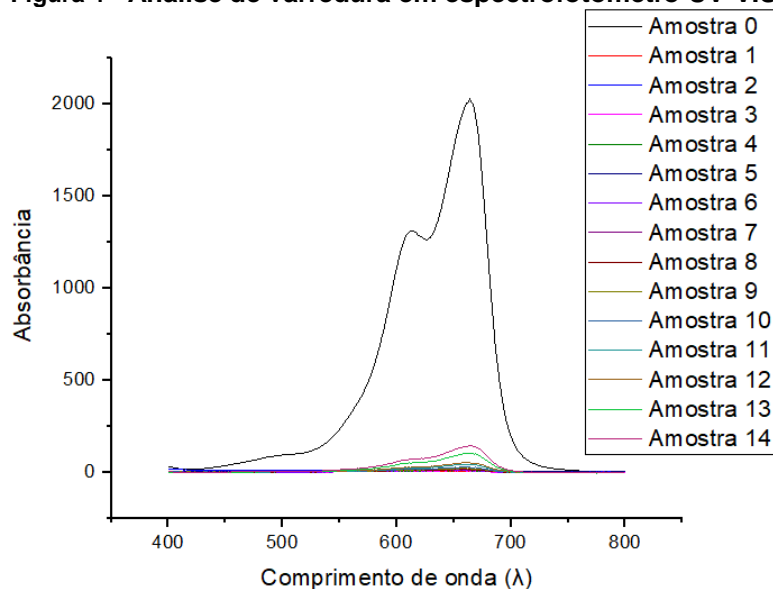
Figura 3 - Solução de Azul de Metileno e Amostras após adsorção na coluna



Fonte: Autoria própria (2023)

A Figura 4 mostra os aspectos de absorvância da solução controle de azul de metileno e das amostras após a passagem na coluna filtrante.

Figura 4 - Análise de varredura em espectrofotômetro UV-VIS



Fonte: Autoria própria (2023)

## CONCLUSÃO

A partir do sistema de filtragem desenvolvido, foi possível concluir que a NCB pode ser utilizada como adsorvente do azul de metileno. Considerando o baixo custo e a alta eficiência da NCB, espera-se que seja um adsorvente promissor para a remoção de corantes, entre outros contaminantes em águas residuais.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a UTFPR Campus Dois Vizinhos e ao grupo de pesquisa NanoBioCell que me capacitaram e auxiliaram durante a execução deste trabalho.

## CONFLITO DE INTERESSE

Não há conflito de interesse.



## REFERÊNCIAS

BAZZANELLA, J. F. de O. Biocompósito nanocelulose/lignina para remoção de corantes de efluentes industriais. 2021. Disponível em:  
<<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/227179>>. Acesso em: 19 set. 2023.

DE JESUS, F. O. et al. Eficácia das medidas domiciliares de desinfecção da água para consumo humano: enfoque para o contexto de Santarém, Pará, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 39, n. 2, p. e00205322, 20 fev. 2023. Disponível em:  
<<https://saudeealegria.org.br/>>. Acesso em: 18 set. 2023.

HESTRIN, S.; SCHRAMM, M. Synthesis of cellulose by *Acetobacter xylinum*. 2. Preparation of freeze-dried cells capable of polymerizing glucose to cellulose. **Biochemical Journal**, v. 58, n. 2, p. 345–352, 1 out. 1954. Disponível em:  
</biochemj/article/58/2/345/48964/Synthesis-of-cellulose-by-Acetobacter-xylinum-2>. Acesso em: 28 ago. 2023.

JACEK, P. et al. Optimization and characterization of bacterial nanocellulose produced by *Komagataeibacter rhaeticus* K3. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, v. 2, p. 100022, 25 dez. 2021. . Acesso em: 18 set. 2023.

LEUDJO TAKA, A. et al. Chitosan nanocomposites for water treatment by fixed-bed continuous flow column adsorption: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 255, p. 117398, 1 mar. 2021. . Acesso em: 18 set. 2023.

LO PRESTI MENDONÇA, A. et al. As águas da região norte brasileira e a luta das comunidades ribeirinhas do estado do Amazonas pela água potável. **Revista do Direito Público**, v. 18, n. 2, p. 187–204, 3 set. 2023. Disponível em:  
<<https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/direitopub/article/view/45265>>. Acesso em: 18 set. 2023.

VELUSAMY, S. et al. A Review on Heavy Metal Ions and Containing Dyes Removal Through Graphene Oxide-Based Adsorption Strategies for Textile Wastewater Treatment. **The Chemical Record**, v. 21, n. 7, p. 1570–1610, 1 jul. 2021. Disponível em:  
<<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/tcr.202000153>>. Acesso em: 18 set. 2023.

WALLING, B. et al. In-situ biofabrication of bacterial nanocellulose (BNC)/graphene oxide (GO) nano-biocomposite and study of its cationic dyes adsorption properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 251, p. 126309, 1 nov. 2023. . Acesso em: 18 set. 2023.

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  $\alpha$ -Proteobacteria. **Annals of Microbiology**, v. 62, n. 2, p. 849–859, 12 jun. 2012. Disponível em:  
<<https://link.springer.com/articles/10.1007/s13213-011-0288-4>>. Acesso em: 18 set. 2023.