



BIOPROSPECÇÃO DE MICROALGAS BIORREMEDIADORAS DE METAIS

Taís R. Reis¹, Jéssica C. E. Vilhena¹, Alexandro C. Fiorentino¹.

¹Universidade Federal do Amapá – Rod. Josmar Chaves Pinto, km 02 – Jardim Marco Zero.

tribeiroris@gmail.com

Palavras-Chave: Microalgas; Metais pesados; Biorremediação.

Introdução

A contaminação de ambientes aquáticos por metais pesados constitui um dos principais desafios ambientais da atualidade devido à elevada persistência, não biodegradabilidade e capacidade de bioacumulação desses elementos nos ecossistemas (Ali et al., 2019). Entre os metais de maior relevância destaca-se o cobre (Cu), amplamente utilizado em atividades industriais, agrícolas e mineradoras, cuja presença em concentrações elevadas compromete a qualidade da água e provoca efeitos tóxicos sobre organismos aquáticos, afetando processos fisiológicos como a fotossíntese, o crescimento celular e o metabolismo (Yousefi et al., 2023). Além dos impactos ambientais, a exposição prolongada aos metais pesados está associada ao desenvolvimento de doenças neurológicas, renais e cardiovasculares, bem como a efeitos carcinogênicos e mutagênicos, tornando indispensável o desenvolvimento de tecnologias eficientes para a remoção desses contaminantes (Zhu et al., 2024; Prodipto et al., 2024).

Os métodos convencionais empregados para o tratamento de efluentes contaminados por metais pesados, como precipitação química, troca iônica e adsorção, apresentam limitações relacionadas ao elevado custo operacional, ao consumo de reagentes químicos e à geração de resíduos secundários (Dias et al., 2019). Nesse contexto, a biorremediação utilizando microalgas tem despertado crescente interesse por representar uma alternativa sustentável, de baixo custo e elevada eficiência (Mahlangu et al., 2024). Esses microrganismos são capazes de remover metais por mecanismos como bioissorção, bioacumulação e biomineralização, reduzindo a disponibilidade dos contaminantes no meio aquático e contribuindo para a recuperação ambiental (Priya et al., 2022). Além disso, apresentam rápido crescimento, elevada plasticidade metabólica e ampla distribuição em



diferentes ambientes, características que favorecem sua aplicação em processos biotecnológicos (Yu et al., 2024).

Entre os gêneros mais promissores destaca-se *Scenedesmus sp.*, reconhecido pela elevada tolerância ao estresse provocado por metais pesados e pela eficiência na remoção de íons metálicos presentes em efluentes (Jose et al., 2022). Estudos recentes demonstram que espécies desse gênero podem remover mais de 90% do cobre em sistemas experimentais, mantendo crescimento celular mesmo sob condições de elevada toxicidade, em razão da ativação de mecanismos antioxidantes e fisiológicos responsáveis pela adaptação ao estresse metálico (Liu et al., 2021; Gauthier et al., 2020). Apesar desses avanços, ainda são escassos os estudos envolvendo microalgas nativas da Amazônia, especialmente aquelas provenientes de ambientes aquáticos do estado do Amapá, cuja elevada biodiversidade representa uma importante fonte de recursos biotecnológicos para aplicações ambientais.

Diante desse cenário, a bioprospecção de microalgas amazônicas torna-se uma estratégia relevante para identificar espécies capazes de atuar na remoção de metais pesados e contribuir para o desenvolvimento de tecnologias limpas voltadas ao tratamento de efluentes contaminados (Mohammed et al., 2024). Assim, o presente trabalho teve como objetivo realizar a bioprospecção de microalgas do gênero *Scenedesmus sp.* isoladas de corpos hídricos do estado do Amapá e avaliar seu potencial biorremediador frente ao cobre, buscando ampliar o conhecimento sobre a biodiversidade microalgal amazônica e fornecer subsídios para futuras aplicações em processos sustentáveis de recuperação de ambientes aquáticos (Jose et al., 2022; Yousefi et al., 2023).

Material e Métodos

O estudo foi desenvolvido com microalgas provenientes dos rios Macacoari e Pedreria localizados no estado do Amapá, Brasil. As coletas foram realizadas entre novembro de 2024 e maio de 2025, utilizando rede de plâncton com malha de 20 μm para amostragem da camada superficial da água (25–30 cm). As amostras foram acondicionadas em frascos estéreis de 180 mL e transportadas ao Laboratório de Química Ambiental da Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), onde foram submetidas à identificação preliminar em microscópio óptico. O isolamento das microalgas foi realizado por meio da técnica de diluição seriada em placas de 24 poços contendo meio de cultura CHU estéril. Posteriormente, os isolados foram cultivados



em tubos de ensaio e transferidos sequencialmente para recipientes de maior volume até atingirem frascos de 1 L, permanecendo em sala de cultivo sob temperatura de 27 ± 1 °C, fotoperíodo de 12 h claro/12 h escuro, intensidade luminosa aproximada de $5.000 \mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e agitação contínua. A identificação taxonômica foi realizada por análise morfológica e morfométrica utilizando microscópio invertido, com auxílio de chaves de identificação especializadas propostas por Komárek (1983) e Bicudo e Menezes (2006).

Para avaliação do potencial biorremediador, foi conduzido um ensaio de ecotoxicidade empregando soluções de cobre nas concentrações de 5, 10 e $15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, além de um grupo controle contendo apenas meio CHU. Cada unidade experimental foi composta por 49 mL de inóculo e 1 mL da solução de cobre, totalizando volume final de 50 mL, sendo os tratamentos realizados em triplicata. As culturas permaneceram sob as mesmas condições de cultivo durante sete dias, sendo avaliadas nos tempos de 24, 72 e 120 h. O crescimento das microalgas foi determinado por contagem direta em câmara de Neubauer utilizando microscópio invertido, após homogeneização das amostras, permitindo acompanhar a densidade celular ao longo do período experimental.

A eficiência da remoção de cobre foi determinada por espectrofotometria UV–Vis utilizando espectrofotômetro de feixe duplo (modelo 4510/5, Labequip®). Após os períodos experimentais, as amostras foram centrifugadas para separação da biomassa e o sobrenadante foi submetido à leitura espectrofotométrica, permitindo determinar a concentração residual do metal por meio de curva analítica previamente estabelecida. A porcentagem de remoção foi calculada a partir da diferença entre as concentrações inicial e final de cobre em cada tratamento, possibilitando avaliar a eficiência biorremediadora de *Scenedesmus* sp. em diferentes concentrações do contaminante e tempos de exposição. O delineamento experimental empregado neste estudo está apresentado na Figura 1.

Figura 1. Etapas experimentais da bioprospecção de *Scenedesmus* sp., desde a coleta das microalgas até a quantificação da remoção de cobre por espectrofotometria UV–Vis.



Fonte: Autoria Própria (2025).

Resultados e Discussão

A bioprospecção realizada nos rios Macacoari e Pedreira permitiu o isolamento de diferentes microalgas, sendo observada predominância do gênero *Scenedesmus sp.* (Figura 2), que correspondeu a aproximadamente 99% dos isolados obtidos. A elevada frequência desse gênero nos ambientes amostrados evidencia sua adaptação às condições ecológicas dos corpos hídricos do estado do Amapá e demonstra sua importância na composição da comunidade fitoplanctônica regional. Essa predominância também sugere elevado potencial biotecnológico, uma vez que espécies de *Scenedesmus* são reconhecidas pela elevada tolerância a diferentes condições de estresse ambiental e pela capacidade de remover contaminantes presentes em ambientes aquáticos. Segundo Priya et al. (2022), essas microalgas apresentam mecanismos fisiológicos eficientes de biossorção, bioacumulação e biomineralização, permitindo a remoção de metais pesados e contribuindo para processos de recuperação ambiental.

Figura 2. Morfologia da Microalgas *Scenedesmus sp.* Isolada.



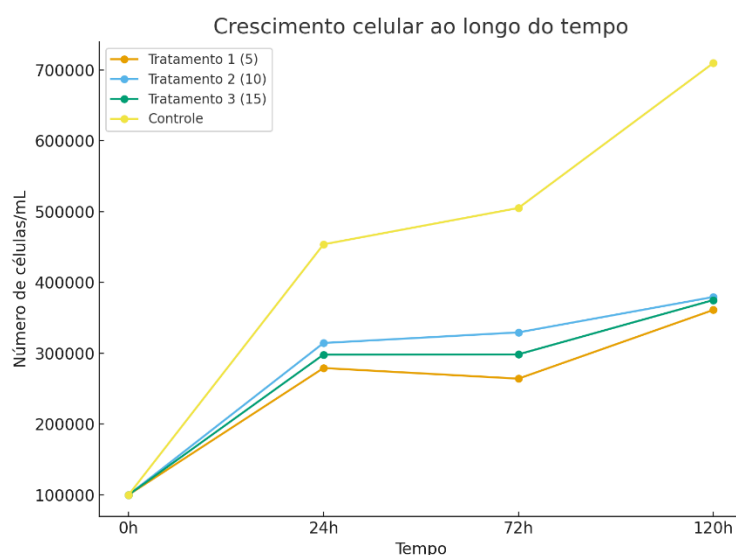
Fonte: Autoria Própria (2025).

A avaliação da ecotoxicidade por meio da contagem celular em câmara de Neubauer demonstrou que a exposição ao cobre influenciou diretamente o crescimento de *Scenedesmus*



sp. (Figura 3). Durante as primeiras 24 horas, observou-se redução da densidade celular nos tratamentos contendo 10 e 15 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de cobre em comparação ao grupo controle, indicando efeito tóxico inicial do metal sobre o metabolismo das microalgas. Entretanto, entre 24 e 72 horas ocorreu recuperação gradual do crescimento em todos os tratamentos, evidenciando a ativação de mecanismos fisiológicos de adaptação ao estresse metálico. Após 120 horas, embora os tratamentos contendo cobre apresentassem densidade celular inferior ao controle, verificou-se manutenção do crescimento das culturas mesmo nas maiores concentrações avaliadas, demonstrando elevada resistência fisiológica do gênero *Scenedesmus* sp.

Figura 3. Gráfico da variação da densidade celular de *Scenedesmus* sp. durante o período experimental (24, 72 e 120 h) sob diferentes concentrações de cobre (5, 10 e 15 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$).



Fonte: Autoria Própria (2025).

Esse comportamento está de acordo com Gauthier et al. (2020), que relatam que a exposição inicial ao cobre provoca estresse oxidativo e redução da atividade metabólica das microalgas, seguida pela ativação de mecanismos antioxidantes responsáveis pela manutenção da viabilidade celular. Resultados semelhantes também foram descritos por Collao et al. (2022), que observaram diminuição inicial do crescimento de microalgas expostas ao cobre, seguida por recuperação parcial após o período de adaptação. Dessa forma, os resultados obtidos demonstram que, embora o cobre exerça efeito tóxico sobre o crescimento celular, *Scenedesmus* sp. apresenta elevada resiliência fisiológica, característica importante para sua utilização em sistemas de tratamento de efluentes contaminados.



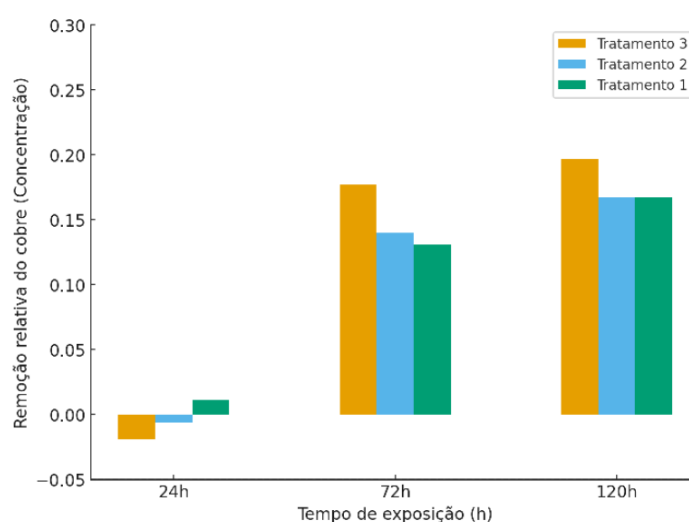
A eficiência da biorremediação foi avaliada por espectrofotometria UV-Vis, permitindo determinar a concentração residual de cobre ao longo do experimento. Os valores obtidos encontram-se apresentados na Tabela 1, enquanto a evolução temporal da remoção é apresentada na Figura 4. Nas primeiras 24 horas observou-se baixa eficiência de remoção nos tratamentos contendo maiores concentrações do metal, indicando que os processos de bioissorção e bioacumulação ainda estavam em fase inicial. A partir de 72 horas ocorreu aumento expressivo da remoção de cobre em todos os tratamentos, atingindo valores superiores a 89%. Após 120 horas, as taxas médias de remoção foram de 86,64%, 93,18% e 94,75% para os tratamentos contendo 5, 10 e 15 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente, evidenciando elevado potencial biorremediador da microalga mesmo sob elevadas concentrações do contaminante.

Tabela 1. Remoção relativa de cobre por *Scenedesmus* sp. durante 24, 72 e 120 horas de exposição.

Tempo (Horas)	Tratamento 1 (5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Tratamento 2 (10 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Tratamento 3 (15 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
24	80,12%	80,24%	80,51%
72	89,04%	94,29%	95,20%
120	86,64%	93,18%	94,75%

Fonte: Autoria Própria (2025).

Figura 4. Gráfico da remoção relativa de cobre por *Scenedesmus* sp. nos tratamentos contendo 5, 10 e 15 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de Cu, durante 24, 72 e 120 horas de exposição.



Fonte: Autoria Própria (2025).



Os resultados obtidos corroboram estudos desenvolvidos por Jose et al. (2022), que verificaram elevada eficiência de espécies do gênero *Scenedesmus* na remoção de cobre, cádmio e cromo em sistemas experimentais. Da mesma forma, Liu et al. (2021) observaram remoção superior a 90% de cobre utilizando *Scenedesmus obliquus*, atribuindo esse desempenho à elevada afinidade dos grupos funcionais presentes na parede celular pelos íons metálicos. Segundo Priya et al. (2022), a remoção de metais ocorre inicialmente por bio sorção passiva, seguida pela bioacumulação intracelular, mecanismos que justificam a elevada eficiência observada neste estudo. Embora tenha sido registrada discreta redução do crescimento celular nos tratamentos contendo maiores concentrações de cobre, essa condição não comprometeu significativamente a capacidade de remoção do metal, indicando elevada estabilidade fisiológica da microalga frente ao contaminante.

De forma geral, os resultados demonstram que *Scenedesmus sp.* isolada de ambientes aquáticos do estado do Amapá apresenta características promissoras para aplicação em processos de biorremediação. A elevada eficiência de remoção de cobre, associada à manutenção da viabilidade celular durante o período experimental, evidencia o potencial dessa microalga como alternativa sustentável aos métodos convencionais de tratamento de efluentes contaminados por metais pesados. Além de contribuir para o desenvolvimento de tecnologias ambientais de baixo custo, os resultados reforçam a importância da bioprospecção de espécies amazônicas como estratégia para a valorização da biodiversidade regional e para o avanço de soluções biotecnológicas voltadas à recuperação de ecossistemas aquáticos

Conclusões

Os resultados obtidos confirmam que a bioprospecção realizada em corpos hídricos do estado do Amapá permitiu o isolamento de microalgas do gênero *Scenedesmus sp.* com elevado potencial para aplicação em processos de biorremediação de ambientes contaminados por cobre. Embora a exposição ao metal tenha provocado inibição inicial do crescimento celular, as microalgas demonstraram capacidade de adaptação ao estresse, mantendo viabilidade ao longo do período experimental e alcançando elevadas taxas de remoção do contaminante, superiores a 90% nos tratamentos com maiores concentrações. Esses resultados evidenciam a eficiência dos mecanismos de bio sorção e bioacumulação empregados por *Scenedesmus sp.*, reforçando sua aplicabilidade como agente biorremediador e bioindicador



ambiental. Dessa forma, o objetivo da pesquisa foi alcançado, demonstrando que linhagens nativas da região amazônica constituem uma alternativa sustentável, eficiente e de baixo custo para o tratamento de efluentes contendo metais pesados. Além disso, o estudo contribui para ampliar o conhecimento sobre a biodiversidade microalgal do Amapá e fortalece a utilização de recursos biológicos regionais no desenvolvimento de tecnologias ambientais voltadas à recuperação de ecossistemas aquáticos contaminados.

Agradecimentos

Agradeço à minha família, aos professores Jéssica Vilhena e Alexandro Florentino, à Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), ao CNPq e ao Laboratório de Química Ambiental.

Referências

- ALI, H.; KHAN, E.; ILAHI, I. **Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation**. Journal of Chemistry, v. 2019, p. 1–14, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>
- BICUDO, C. E. M.; MENEZES, M. **Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições**. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2006.
- COLLAO, N. et al. **Advances in the use of microalgae for the bioremediation of heavy metals from wastewater: a review**. Biology, v. 11, n. 8, p. 1176, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology11081176>.
- DIAS, G. A. et al. **Biorremediação de efluentes utilizando microalgas: potencial e perspectivas**. Química Nova, v. 42, n. 8, p. 891–899, 2019.
- GAUTHIER, M. R.; SENHORINHO, G. N. A.; SCOTT, J. A. **Microalgae under environmental stress as a source of antioxidants**. Algal Research, v. 52, p. 102104, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.102104>.
- JOSE, S. et al. **Bioremediation of cadmium, chromium and copper using green microalgae**. Research Journal of Agricultural Sciences, v. 13, n. 1, p. 275–279, 2022.
- KOMÁREK, J. **Contribution to the chlorococcal algae of Cuba**. Prague: Academia, 1983.



LIU, L. et al. **Biosorption of copper ions through microalgae from piggery digestate: optimization, kinetic, isotherm and mechanism.** Journal of Cleaner Production, v. 319, p. 128724, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128724>.

MAHLANGU, D. et al. **Microalgae-mediated biosorption for effective heavy metals removal from wastewater: a review.** Water, v. 16, n. 5, p. 718, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/w16050718>

MOHAMMED, O. F. et al. **A comprehensive review on microalgae-driven heavy metals removal from industrial wastewater using living and nonliving microalgae.** Journal of Hazardous Materials Advances, v. 16, p. 100492, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2024.100492>.

PRIYA, A. K. et al. **Heavy metal remediation from wastewater using microalgae: recent advances and future trends.** Chemosphere, v. 305, p. 135375, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135375>

YU, B. S. et al. **Microalgae: a multifaceted catalyst for sustainable solutions in renewable energy, food security, and environmental management.** Microbial Cell Factories, v. 23, n. 308, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12934-024-02588-7>.

YOUSEFI, Y. et al. **Heavy metals (copper and iron) and nutrients (nitrate and phosphate) removal from aqueous medium by microalgae *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus obliquus*, and their biofilms.** Marine Environmental Research, v. 188, p. 105989, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2023.105989>.

ZHU, Q. et al. **Toxic and essential metals: metabolic interactions with the gut microbiota and health implications.** Frontiers in Nutrition, v. 11, p. 1–18, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1448388>.