

## PERSPECTIVAS PARA O CULTIVO CONTROLADO DE MICROALGAS EM FOTOBIOREATORES: POTENCIAL PARA PRODUÇÃO DE BIOMASSA E METABÓLITOS DE ALTO VALOR AGREGADO NO BRASIL

JULIANA PORCIUNCULA DA SILVA<sup>1</sup>; LEONARDO WERNER<sup>2</sup>;  
DANIELLE TAPIA BUENO<sup>2</sup>; AMANDA FONSECA LEITZKE<sup>2</sup>; TAMARA MENDES  
LEITE SILVA TRINDADE<sup>2</sup>; CLAUDIO MARTIN PEREIRA DE PEREIRA<sup>3</sup>

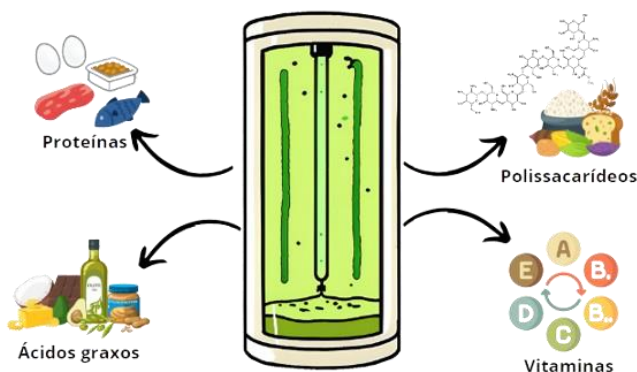
<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – julianaporciuncula@hotmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas - lahbbiufpel@gmail.com

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – claudiochemistry@gmail.com

### 1. DESCRIÇÃO DA INOVAÇÃO

No Brasil, o cultivo de macroalgas ocorre ao longo do seu litoral, no qual conta com cerca de 7.637 km, podendo alcançar 8.500 km se forem consideradas as baías (SANTANA, DALAZOANA, 2020), sendo no Nordeste, a produção mais destacada na qual se baseia na coleta em bancos naturais (ANDRADE et al., 2020). A crescente demanda por fontes de energia renováveis e os desafios relacionados à poluição ambiental impulsionam a busca por soluções tecnológicas sustentáveis. Nesse contexto, uma alternativa para o cultivo de microalgas é através de fotobiorreatores (FBR), onde estes tem ganhado destaque como uma abordagem promissora para a geração de bioenergia e remediação ambiental. Esses sistemas controlados permitem a conversão eficiente de CO<sub>2</sub> e nutrientes em biomassa de alto valor, utilizando a energia luminosa para estimular o efeito fotossintético. A biomassa gerada é rica em compostos de valor agregado, como lipídios, proteínas, carboidratos, ácidos graxos poli-insaturados e pigmentos naturais, que podem ser aplicados em diversos setores, incluindo alimentos funcionais, rações animais, cosméticos e biofarmacêuticos (**Figura 1**) (TING et al., 2017). Isto é possível devido a viabilidade de controlar parâmetros como: físicos (intensidade luminosa e temperatura), químicos e parâmetros biológicos (presença de vírus, bactérias e fungos) (CARDOSO et al., 2007). Além disso, o cultivo em fotobiorreatores contribui para o sequestro de CO<sub>2</sub> e a remoção de poluentes, oferecendo uma solução tecnológica tanto para a produção de biomassa quanto para a purificação ambiental. Assim, o desenvolvimento de fotobiorreatores eficientes é essencial para atender a essas demandas, proporcionando controle otimizado de parâmetros e maximização da produtividade (TING et al., 2017).



**Figura 1.** Produção de bioproductos de alto valor agregado através do cultivo de microalgas em fotobiorreatores.

## 2. ANÁLISE DE MERCADO

O mercado global de microalgas, avaliado em US\$ 1,2 bilhão em 2023, está projetado para crescer significativamente, atingindo US\$ 1,8 bilhão até 2030, com uma taxa de crescimento anual composta de 5,8% entre 2023 e 2030. Esse aumento reflete a crescente demanda por bioprodutos sustentáveis e o avanço contínuo das tecnologias de cultivo e processamento de microalgas. A expansão desse mercado está sendo impulsionada por seu papel estratégico na crescente incorporação de ingredientes funcionais em indústrias como a farmacêutica e alimentícia. O setor de alimentos, em particular, está se beneficiando do desenvolvimento de produtos ricos em nutrientes e antioxidantes derivados de microalgas, enquanto o setor farmacêutico explora o potencial terapêutico de seus compostos bioativos. Esses fatores, aliados à necessidade global de soluções mais sustentáveis, posicionam o mercado de microalgas como um dos mais promissores para as próximas décadas, com oportunidades crescentes para inovação e aplicação industrial (Market Research, 2024).

## 3. ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

Em condições de estresse otimizadas (ou seja, concentrações ideais de carbono, nitrogênio e fósforo, diferentes regimes de salinidade e intensidade de luz, radiação UV e condições controladas de pH e temperatura), as microalgas alcançam alta produtividade de biomassa e produtividades comercialmente aceitáveis de ácido eicosapentaenoico e ácido docosahexaenoico (PALIWAL et al., 2017). Dessa forma, a inovação em fotobiorreatores oferece uma oportunidade de gerar receita por meio da comercialização de biomassa de microalgas rica em metabólitos de alto valor agregado, como carotenoides (por exemplo, o mercado de fucoxantina alcançou US\$ 120 milhões em 2022 (PAJOT et al., 2022)), polissacarídeos (como a comercialização da carragenana que alcançou US\$ 924,7 milhões em 2023 (ZHANG, LANGFORD, WALDRON 2023)) e o mercado de ômega-3 que alcançou US\$ 5 bilhões em 2020 (SHARMA, SARMAH, BISHNOI, 2020; ALLNUTT et al., 2019). A venda desses produtos pode ser direcionada para mercados de alimentos funcionais, cosméticos, suplementos nutricionais e biofarmacêuticos, todos com alto potencial de crescimento. Além disso, a tecnologia de captura de CO<sub>2</sub> associada ao cultivo de microalgas abre novas oportunidades no mercado de créditos de carbono, atraindo investidores preocupados com a sustentabilidade (ZHANG et al., 2021).

O alto custo de produção, especialmente no que diz respeito a vitaminas e hormônios necessários para o cultivo, é um desafio significativo. Além disso, há barreiras associadas à adoção de novas tecnologias pela indústria e à competição com produtos estabelecidos no mercado de bioprodutos. Para enfrentar esses desafios, a inovação deve focar na redução de custos operacionais, investindo em automação e otimizando o uso de insumos. Parcerias com fornecedores e desenvolvedores de tecnologia também podem ajudar a mitigar riscos, assim como o desenvolvimento de um plano de escalabilidade que permita uma produção eficiente em larga escala. O uso de inteligência artificial (IA) para monitoramento e ajustes automáticos no processo de cultivo é uma estratégia-chave para aumentar a reprodutibilidade e reduzir falhas humanas. Ao abordar esses aspectos, o trabalho ganha uma visão mais clara de como a inovação pode ser implementada e escalada com sucesso na indústria.

#### 4. RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTO

O cultivo de microalgas em fotobiorreatores emergiu como uma solução promissora e sustentável para enfrentar desafios ambientais, oferecendo impactos positivos em diversas áreas. Com uma taxa de crescimento acelerada, as microalgas são particularmente eficazes na biorremediação de CO<sub>2</sub>, funcionando como uma técnica promissora para a captura e armazenamento de carbono in situ. Estudos demonstram que as microalgas podem capturar até 1,83 kg de CO<sub>2</sub> por quilograma de biomassa produzida, tornando-se uma ferramenta crucial no combate ao aquecimento global e na mitigação de emissões de gases de efeito estufa (RAZZAK et al., 2024).

Além disso, as microalgas representam uma fonte promissora de produtos de alto valor agregado com grande potencial de aplicação em diversos setores industriais. Espécies como *Nannochloropsis* e *Schizochytrium* destacam-se pela produção abundante de ácidos graxos ômega-3, incluindo ácido docosa-hexaenoico e ácido eicosapentaenoico, essenciais para a saúde humana e amplamente utilizados em suplementos dietéticos e alimentos funcionais (PLAZA, CIFUENTES, IBANEZ, 2008). Ademais, as microalgas produzem pigmentos valiosos como clorofila, carotenoides e ficobiliproteínas, que encontram aplicações crescentes em corantes alimentícios, cosméticos e farmacêuticos, devido à sua origem natural e características seguras. Produtos como astaxantina e espirulina, reconhecidos por seu alto teor de antioxidantes, são amplamente empregados em suplementos e produtos de beleza, proporcionando benefícios à saúde e atraindo o interesse crescente do mercado. Com o avanço das tecnologias de cultivo, como fotobiorreatores, a indústria pode explorar ainda mais o potencial dessas microalgas, integrando-as em uma cadeia produtiva sustentável e de alto valor para diversos segmentos, incluindo indústrias alimentícias, cosmeceúicas e biofarmacêuticas (NOVOVESKÁ et al., 2019).

#### 5. CONCLUSÕES

Diante do cenário atual e da crescente demanda por eficiência na produção e entrega de biomassa e metabólitos de alto valor, a implementação de automação e inteligência artificial em fotobiorreatores torna-se essencial. A integração dessas tecnologias não só otimiza o controle de parâmetros críticos, como também elimina inconsistências operacionais decorrentes de erros humanos, garantindo maior reprodutibilidade e precisão. A IA tem o potencial de revolucionar o cultivo de microalgas, acelerando processos e ajustando condições em tempo real, o que é vital para atender às exigências do mercado moderno com rapidez e qualidade, posicionando o Brasil na vanguarda dessa inovação tecnológica.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLNUTT, FC Thomas. Promising future products from microalgae for commercial applications. In: Sustainable Downstream Processing of Microalgae for Industrial Application. **CRC Press**, 2019. p. 39-68.

ANDRADE, H.M.M.d.Q.; et al. Seaweed Production Potential in the Brazilian Northeast: A Study on the Eastern Coast of the State of Rio Grande do Norte, RN, Brazil. **Sustainability**, 12, 780, 2020.

CARDOSO, K. H. M. *et al.* Metabolites from algae with economical impact. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 146, n. 1-2, p. 60-78, 2006.

NOVOVESKÁ, Lucie *et al.* Microalgal carotenoids: A review of production, current markets, regulations, and future direction. **Marine drugs**, v. 17, n. 11, p. 640, 2019.

PAJOT, Anne *et al.* Fucoxanthin from algae to human, an extraordinary bioresource: Insights and advances in up and downstream processes. **Marine drugs**, v. 20, n. 4, p. 222, 2022.

PLAZA, Merichel; CIFUENTES, Alejandro; IBÁÑEZ, Elena. In the search of new functional food ingredients from algae. **Trends in food science & technology**, v. 19, n. 1, p. 31-39, 2008.

RAZZAK, Shaikh Abdur *et al.* Microalgae cultivation in photobioreactors: sustainable solutions for a greener future. **Green Chemical Engineering**, v. 5, n. 4, p. 418-439, 2024.

RODRIGUES, L. A. **Caracterização Espectroscópica de Microalgas Cultivadas em Reatores Automatizados**. 2020. 114 f. Dissertação (Mestrado em Física) – Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade de Brasília.

SANTANA, Tulio Alves; DALAZOANA, Regiane. Integração dos Referenciais Verticais Terrestre e Oceânico: conceitos relacionados, projetos desenvolvidos e desafios. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 72, n. 2, p. 345-364, 2020.

SHARMA, Jyoti; SARMAH, Pampi; BISHNOI, Narsi R. Market perspective of EPA and DHA production from microalgae. Nutraceutical fatty acids from oleaginous microalgae: **A human health perspective**, p. 281-297, 2020.

ZHANG, Jing; LANGFORD, Zannie; WALDRON, Scott. The global carrageenan industry. In: Globalisation and Livelihood Transformations in the Indonesian Seaweed Industry. **Routledge**, 2023. p. 23-50.

ZHANG, Shuping; LIU, Zhenrong. Advances in the biological fixation of carbon dioxide by microalgae. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 96, n. 6, p. 1475-1495, 2021.