



Fazenda de Microalgas: Um Modo Mais Sustentável de Reutilizar o Esgoto

Microalgae Farming: A More Sustainable Way to Reuse Wastewater

Dhomenique Lourenço Da Paz¹, Hanna Hapke Lima², Isabelle Ribas Guimarães³, Anna Carolina de Oliveira Mandes⁴ e Hugo Renan Bolzani⁵,

^{1,2,3} Estudantes do Ensino/Profissionalizante da Fundação Osório, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. ^{4,5} Professores da Fundação Osório, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mails: annacarolina@fosorio.g12.br; hugo@fosorio.g12.br,

214

Resumo

A economia atual e a elevada taxa de poluição atmosférica estão promovendo um aumento no número de eventos climáticos cujos efeitos poderão ser sentidos ainda neste século. Além disso, o aumento populacional e a demanda por alimentos farão com que nutrientes utilizados em fertilizantes tradicionais, como o fósforo, enfrente escassez em um futuro próximo. Desta forma, uma visão mais sustentável deve ser implementada para obtenção de uma economia mais circular. O cultivo de microalgas em centros urbanos é uma alternativa sustentável e de baixo custo para programas de redução de CO₂ atmosférico em excesso e geração de subprodutos valiosos, como biofertilizantes. Em regiões com baixa densidade de vegetação arbórea, os aquários de microalgas podem ser utilizados como um complemento no processo de tratamento da água. Sendo assim, o objetivo do trabalho é avaliar o potencial de implementação de aquários de microalgas como alternativa para redução do CO₂ atmosférico e, conseqüentemente, das mudanças climáticas, bem como a geração de biofertilizantes sustentáveis. O projeto ainda na fase inicial de crescimento, adaptação das microalgas e geração de biomassa e, para as próximas etapas, serão realizadas análises físico-químicas de sólidos totais para estimar o carbono absorvido, bem como de nutrientes na biomassa para verificar o potencial do seu uso como biofertilizante.

Palavras-chave: Microalgas. Biofertilizante. Mudanças climáticas.

Abstract

The ongoing economy and the rise in atmospheric pollution rates have been contributing to an increase in the number of climate changing events which effects may be observed within this century. Furthermore, population growth and food demand will require even more amounts of nutrients used as natural fertilisers, such as Phosphorus, thus leading to its scarcity in the near future. In this view, a more sustainable way of dealing with resources must be implemented to the development of a more circular economy. Microalgae farming in urban areas is a sustainable and low-cost alternative for programmes aimed at reducing atmospheric CO₂, besides the production of valuable subproducts, like biofertilisers. In scarcely arbored regions, microalgae aquariums may be complimentary used to water treatment. This study aims at assessing the potential for implementing microalgae aquariums as alternative to reduce not only the atmospheric CO₂, but also contributing to reduce climate changing events at the same time it serves as sustainable biofertiliser producer. The study is in its initial stages of growing, microalgae adaptation and production of biomass. Next steps include physical-chemical analyses of total solids in order to estimate the amount of absorbed carbon, as well as in the biomass to verify its biofertiliser potential.

Keywords: microalgae, Biofertiliser, Climate change.



1. Introdução

A crescente urbanização e ampliação produtiva da sociedade elevou a demanda por recursos naturais e trouxe graves consequências sociais e ambientais. Ao mesmo tempo, ao longo dos últimos anos, as mudanças climáticas foram identificadas como um dos maiores problemas da humanidade, levando os formuladores de políticas a agir em resposta aos movimentos científicos e sociais.

Segundo a Organização Meteorológica Mundial, desde 1990 as emissões de gases de efeito estufa – GEE – forçaram os efeitos climáticos a aumentarem em 47%, dos quais o CO₂ representa aproximadamente 80% (WMO, 2022). Além disso, esse fenômeno agravará as mudanças nos ecossistemas, a acidificação dos oceanos, os riscos para a saúde humana, dentre outros malefícios.

Uma das consequências desses movimentos técnicos e políticos são os frequentes encontros em escala global, como a 27^a Conferência do Clima da ONU, realizada no Egito em 2022, cujo objetivo foi discutir e traçar propostas e ações que obrigam as nações signatárias a reduzirem as emissões de GEE, principalmente a redução da quantidade de CO₂ liberado na atmosfera.

O último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, lançado em 2022, traz informações alarmantes e indica que as emissões nocivas de Carbono no período de 2010-2019 foram as mais altas na história, com aumento de emissões registrados em todos os principais setores do mundo (IPCC, 2022).

Com as políticas adotadas atualmente, os aumentos constantes nas emissões líquidas de GEE devem aumentar os índices do aquecimento global em cerca de 3,2°C em 2100 (faixa de 2,5 - 3,5°C). Estimativas apontam que as emissões de GEE precisam parar de crescer até 2025 e depois caírem 43% até 2030 (em relação aos níveis de 2019) para que o mundo possa cumprir a meta de aquecimento máximo do planeta em até 1,5°C (IPCC, 2022). O mês de julho de 2023, por exemplo, foi considerado o mais quente no Brasil desde 1961, ficando 1,04°C acima da média histórica (INMET, 2023).

Tais notícias levam pesquisadores ao redor do globo a pensarem em tecnologias mais sustentáveis que permitam atingir a economia circular e que se enquadrem em uns dos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 (ODS BRASIL, 2023), assim como um dos 10 Desafios da Década das Nações Unidas da Ciência dos Oceanos para o Desenvolvimento Sustentável (UNESCO, 2023). O cultivo microalgal



em “aquários de microalgas” apresenta-se como uma excelente opção pois, além de contribuir com a diminuição da concentração de CO₂ na atmosfera por meio da fotossíntese, sua biomassa possui potencial para numerosas aplicações práticas, como biofertilizantes, remédios e biocombustíveis (GONÇALVES et al., 2017; SIEBERS et al., 2019).

Questões como “por que não árvores?” ou “por que aquários com microalgas?” podem surgir. Entretanto, deve-se esclarecer que as microalgas são de 10 a 50 vezes mais eficientes na fixação do carbono quando comparadas à plantas terrestres. Outro ponto positivo a ser citado é que um aquário com cerca de 2m² consegue remover aproximadamente 1000 m³ de metais pesados por mês em um ambiente poluído. Sendo assim, o uso de tecnologias com microalgas pode ser considerado como complementar à vegetação arbórea no enfrentamento das mudanças climáticas.

Uma reportagem do portal Universo On Line – UOL – de 2022 mostrou que um projeto chamado LIQUID3, na Sérvia, por exemplo, foi pioneiro na comercialização de aquários com microalgas, onde os autores os apelidaram de árvores líquidas. Eles projetaram fotobioreatores, uma espécie de tanque transparente, de acrílico, contendo 600 litros de água e microalgas, cujo intuito é colocá-lo em lugares que não sejam adequados à plantação de árvores. A presença desses tanques também pode trazer a conscientização sobre a importância da proteção ambiental e que a biomassa gerada pelas microalgas adultas pode virar biofertilizante a partir de uma produção sustentável, substituindo em parte os fertilizantes tradicionais.

O uso de novas fontes sustentáveis de nutrientes na agricultura é importante, pois, por exemplo, o Fósforo possui reservas finitas e que estão se tornando cada vez mais escassas e desigualmente distribuídas (STAMM et al., 2022). Se a taxa de extração de Fósforo e o crescimento populacional continuarem semelhante aos índices atuais, estimativas mostram que as reservas mundiais só durariam até o ano de 2170 (THEREGOWDA et al., 2019).

Paralelamente ao Fósforo, o ciclo biogeoquímico do Nitrogênio é aberto e a fixação pode ocorrer por meios biológicos e/ou industriais. Entretanto, o processo Haber-Bosch é energeticamente custoso e emite diversos gases para a atmosfera (WIEL et al., 2019), sendo insustentável a longo prazo. Como resultado, uma grande fração de Nitrogênio sintético acaba no ambiente, poluindo a água e atmosfera. O óxido nitroso



(N₂O), um gás forte e tóxico para os organismos e os seres humanos, é lançado por este processo e contribui para o efeito estufa. (VERSTRAETE et al, 2009).

O potencial do uso da biomassa microalga como biofertilizante está em sintonia com o Plano de Investimento para Agricultura Sustentável (BRASIL, 2020c), o Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária 2020-2030 (BRASIL, 2021b), o Programa Nacional de Crescimento Verde (BRASIL, 2021a) e o Plano Nacional de Fertilizantes 2022-2050 (BRASIL, 2022b).

2. Objetivo

O objetivo do trabalho foi analisar aquários de microalgas como uma tecnologia sustentável para ser utilizadas nos centros urbanos para redução do CO₂ atmosférico, bem como geração de biofertilizante como subproduto do cultivo microalgal.

3. Materiais e Métodos

O projeto ainda encontra-se em fase inicial de crescimento, adaptação das microalgas e geração de biomassa, com duração de 3 meses até o presente momento.

O trabalho foi realizado no Laboratório de Ciências da Fundação Osório, localizada no Bairro Rio Comprido, cidade de Rio de Janeiro/RJ, Brasil.

Para o crescimento das microalgas em escala laboratorial, foi utilizado como meio de cultura o esgoto doméstico bruto encontrado a céu aberto próximo à Fundação Osório (Figura 1a). Além disso, também foi utilizado fertilizante para plantas e água de piscicultura como complemento de nutrientes.

O esgoto foi coletado semanalmente e o cultivo foi realizado em fotobioreatores compostos por copos de vidro com volume de 200 mL e um recipiente retangular fechado e com volume de aproximadamente 5L (Figura 1b).

O cultivo foi realizado em modo batelada por 7 dias e 10% do volume do esgoto da batelada anterior era utilizado como inóculo para a batelada seguinte. Os fotobioreatores foram incubados em uma estufa artesanal de madeira com duas lâmpadas LED que funcionaram em um fotoperíodo de 12:12h (Figura 1c).



Figura 1: (a) Esgoto doméstico bruto; (b) Fotobiorreator fechado; (c); estufa de incubação

A aeração e a suspensão/agitação no fotobiorreator fechado de 5L foi obtida pela injeção contínua de ar comprimido por um compressor de ar ($5 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$) da marca Seven Star, modelo S-6000. O compressor foi conectado a uma mangueira com uma pedra porosa na extremidade e instalada no fundo do fotobiorreator.

As microalgas cultivadas em esgoto e descartadas após o fim das bateladas eram encaminhadas a uma estufa de secagem a 60°C para obtenção de biomassa seca.

Para as análises físico-químicas, foram analisados os parâmetros de sólidos totais (APHA, 2022). Foram realizados testes preliminares de pH, Nitrogênio amoniacal, Fósforo e Potássio na biomassa microalgal desidratada por meio do Kit de Análise de Solo da marca Yieryi.

A fim de estimar a fixação de CO_2 na biomassa, foi utilizada a seguinte equação adaptada, denominada Equação 1 (HO et al., 2015):

$$F_{\text{CO}_2} = 1,88 \cdot \text{ST} \quad \text{Eq. 1}$$

onde:

F_{CO_2} : fixação de CO_2 na biomassa ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) (uma fórmula molecular típica para biomassa microalgal foi usada ($\text{CO}_{0,48}\text{H}_{1,83}\text{N}_{0,11}\text{P}_{0,01}$));

ST: Sólidos totais ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$).



4. Resultados e Discussão

O período de incubação das microalgas na estufa e fotobiorreator em escala laboratorial mostrou que as condições experimentais foram capazes de proporcionar o crescimento de um consórcio de microalgas nativas do esgoto doméstico e água de piscicultura, conforme a Figura 2.

219

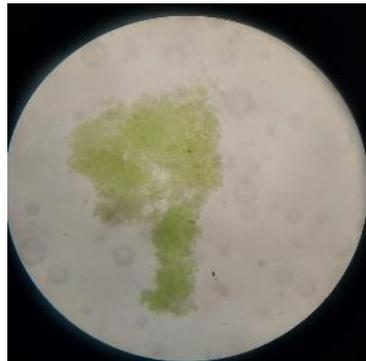


Figura 2: Consórcio de microalgas observado em microscópio óptico

Os resultados das análises físico-químicas da biomassa microalgal gerada podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultado das análises físico-químicas da biomassa microalgal

Parâmetros	Valores
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)	15,1
pH	8,0
Nitrogênio amoniacal (mg.L ⁻¹)	200,0
Fósforo (mg.L ⁻¹)	20,0
Potássio (mg.L ⁻¹)	120,0

A partir da análise de sólidos totais, foi possível estimar que o crescimento microalgal nas condições experimentais submetidas em laboratório pode proporcionar uma fixação de CO₂ de 28 mg.L⁻¹. Este resultado indica que a tecnologia baseada em cultivo de consórcio microalgal pode ser utilizada como uma ferramenta para o enfrentamento das mudanças climáticas.

Além disso, foi possível verificar uma capacidade de absorção dos nutrientes presentes no meio de cultura em que as microalgas estavam inseridas (Tabela 1). O conjunto de nutrientes NPK são essenciais para o crescimento das plantas na produção



agrícola e os resultados indicam que a tecnologia baseada em fotobiorreatores de microalgas também pode ser utilizada para obtenção de nutrientes cujas fontes naturais estarão escassas no futuro, como o Fósforo que, de maneira atual, é predominantemente obtido por meio de rochas fosfáticas.

A partir da hipótese inicial, houve teorias que foram refutadas por pesquisas e testes, dentre elas uma faz parte da questão-problema: “As árvores poderiam ser trocadas por aquários com algas?”. Apesar da aparente simplicidade na negativa, os autores, movidos pelo espírito científico, optaram por testar a fazenda de microalgas. Uma vez que árvores não poderiam ser substituídas em hipótese alguma, as microalgas seriam um elemento viável complementar o estudo, visto que ajudam a diminuir o carbono presente na atmosfera. Pensou-se que, em ambientes mais frios seriam usados aquários, como o projeto sérvio LIQUID3 e, em ambientes tropicais e amplos, como o Brasil, a criação de microalgas em lagoas artificiais possa vir a ser viável.

Além desse benefício, a utilização de microalgas pode servir também para a obtenção de outros subprodutos, como biomassa, que, além do potencial visto no estudo, é capaz de gerar biocombustível e biofertilizantes, além ser considerada atualmente como uma das peças-chave na inovação de energia sustentável.

5. Conclusão

O trabalho apresentou resultados que podem ser considerados de grande importância para atingir alguns dos objetivos do desenvolvimento sustentável que envolvam o combate às mudanças climáticas e a produção de alimentos e combate à fome, além de dar um fim benéfico ao esgoto doméstico e água de piscicultura para geração de subprodutos valiosos.

Estimou-se que o cultivo do consórcio de microalgas em escala laboratorial obteve uma fixação de CO_2 de 28 mg.L^{-1} em sua biomassa. Além disso, o biofertilizante gerado apresentou concentrações de nutrientes que variaram de 20 mg.L^{-1} para fósforo e 200 mg.L^{-1} para nitrogênio amoniacal.

A partir desses dados preliminares, mais testes devem ser realizados para verificar o potencial do uso da biomassa microalgal como biofertilizante por meio de sua aplicação direta no cultivo de plantas alimentícias.



Ademais, recomenda-se testes com novas configurações experimentais e transferência de condições internas controladas para condições externas sob efeito das variações climáticas.

O estudo com microalgas possibilitou, além do conhecimento sobre o tema e como elas poderiam ajudar o meio ambiente como um todo, o desdobramento do processo científico de racionalização e aplicação estendida de um dado conhecimento.

O projeto teórico e experimental mostrou-se satisfatório, apesar de percalços observados. O estudo avançado sobre microalgas poderá trazer benefícios adicionais à comunidade internacional. Dada a dimensão continental do Brasil e de seu clima essencialmente tropical, o investimento amplo em pesquisas com microalgas deve ser fomentado, a fim de que se busquem formas de melhorar as condições de vida na terra.

6. Referências

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Sewage**. 24. ed. LMC - Pharmabooks, 2022.

BRASIL. **Decreto Nº 10.846**, de 25 de outubro de 2021. Brasília, 2021a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2021/decreto/d10846.htm, acesso em 03 de maio de 2023.

_____. **Plano de Investimento para Agricultura Sustentável**. Brasília: MAPA, 2021b. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/financas-verdes/textos-tecnicos-e-apresentacoes/PlanodeInvestimentoparaAgriculturaSustentvel.pdf>, acesso em 02 de jun. de 2023.

_____. **Plano Nacional de Fertilizantes**. Brasília: MAPA, 2022b. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/plano-nacional-de-fertilizantes/o-plano-nacional-de-fertilizantes>. acesso em 03 de jun. de 2023

_____. **Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária 2020-2030**. Brasília: MAPA, 2020b. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono/publicacoes/final-isbn-plano-setorial-para-adaptacao-a->



[mudanca-do-clima-e-baixa-emissao-de-carbono-na-agropecuaria-compactado.pdf](#).

Acesso em 12 de jun. de 2023.

GONÇALVES, A. L.; PIRES, J.C.M; SIMÕES, M. **A review on the use of microalgal consortia for wastewater treatment.** *Algal Research*, v. 24 , part B, p. 403-415, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2016.11.008>. Acesso em 30 de agosto de 2023.

GREENBIOTECH. **Microalgas: o que são, onde estão e para que servem?** Disponível em <https://greenbiotech.eco.br/cultivo/microlagas-o-que-sao-onde-estao-e-para-que-servem>. Acesso em: 30 de agosto de 2023.

HO,S.H. et al. **Dynamic metabolic profiling of the marine microalga *Chlamydomonas* sp. JSC4 and enhancing its oil production by optimizing light intensity.** *Biotechnology for Biofuels*, v. 8, n. 1, p. 1-17, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13068-015-0226-y>. Acesso em: 01 de setembro de 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Julho de 2023 foi o mais quente no Brasil desde 1961.** Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/julho-de-2023-foi-o-mais-quente-no-brasil-desde-1961>. Acesso em: 10 setembro 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change.** Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2022. Disponível em:https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf. Acesso em 17 de Julho de 2023.

ODS BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.** Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/>. Acesso em: 10 Setembro 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA – UNESCO. **10 Desafios - Década dos Oceanos Desafios para um impacto coletivo.** Disponível em: <https://oceandecade.org/pt/challenges/>. Acesso em: 10 Setembro 2023.

SIEBERS, N. et al. **Towards phosphorus recycling for agriculture by algae: Soil incubation and rhizotron studies using ³³P-labeled microalgal biomass.** *Algal Research*, v. 43, p. 101634, 2019.

STAMM, C. **Towards circular phosphorus: The need of inter- and transdisciplinary research to close the broken cycle.** *Ambio*, v. 51, p. 611-622, 2022.

THEREGOWDA, R. B. et al. **Nutrient Recovery from Municipal Wastewater for Sustainable Food Production Systems: An Alternative to Traditional Fertilizers.** *Environmental Engineering Science*, v. 36, n. 7, p. 833-842, 2019.



Universo OnLine. **Aquário de microalgas atua como árvore na despoluição do ar**
Disponível em: <https://www.uol.com.br/ecoa/ultimas-noticias/2022/05/06/aquario-de-microalgas-atua-como-arvore-na-captura-do-co2-e-producao-de-o2.htm>. Acesso em: 30 agosto 2023.

Universo Online. Escola Kids. **21 de Setembro – Dia da Árvore**. Disponível em:
<https://escolakids.uol.com.br/datas-comemorativas/dia-da-arvore.htm>. Acesso em: 30 agosto 2023

223

VERSTRAETE, W.; DE CAVEYE, P. V.; DIAMANTIS, V. 2009. **Maximum use of resources present in domestic "used water"**. Bioresource Technol, 100, 5537-5545.

WIEL, B. Z. D. et al. **Restoring nutrient circularity: A review of nutrient stock and flow analyses of local agro-food-waste systems**. Resources, Conservation & Recycling: X, v. 3, p. 100014, 2019.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO. **World Meteorological Organization Greenhouse Gas Bullutin (GHG Bulletin) - No. 15 (2021): the State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through, 2022.**