

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REDUÇÃO DO CO₂ E CONSEQUENTE ACIDEZ DA ÁGUA UTILIZANDO LENTILHAS- D'ÁGUA E METODOLOGIA CITOGENÉTICA COM *Allium cepa*

Estudante(s): Artur Camargos do Nascimento (arturcamargosdonascimento@gmail.com),
Eduardo Rocha De Souza Araújo (eduardo.rocha.s.araujo@gmail.com), Tânise Roberta
Sanguinete Araújo (taniserobertacontaprinicipal@gmail.com).

Orientadores: Meirielly Maria Cardoso Santos (meirielly.santos@educacao.mg.gov.br),
Maria Gabriela de Seni Silva (magabrielaseni@gmail.com).

Escola Estadual Frei Egídio Parisi

RESUMO

Cerca de 75% do planeta Terra é coberto por água, sendo ela fundamental para a manutenção da vida terrestre e marinha. O dióxido de carbono (CO₂) é uma substância que podem afetar a estabilidade de ecossistemas aquáticos, principalmente quando presente em grandes quantidades alterando valores como pH e relações biológicas. O CO₂ é incorporado a corpos de água através da queima de combustíveis fósseis, desmatamento e outros. Nos últimos anos, tem se popularizado o uso de biorremediação para redução de contaminantes em águas, como é o caso do uso de plantas para o controle de algumas características biofísico-químicas em rios e lagos. Um exemplo de fitorremediação é o emprego de lentilhas d'água, estas plantas aquáticas além de absorção de alguns contaminantes, apontam para uma potencialidade em utilização como redutor de concentração de CO₂ em água. Objetiva-se com este trabalho, avaliar o potencial de fitorremediação da lentilha d'água na redução de CO₂ em água, com avaliação utilizando citogenética. As avaliações serão realizadas em esquema de blocos casualizados em 2x3 (dois tratamentos em três repetições). Espera-se que a partir destas avaliações, seja identificado potencial de redução dos índices de CO₂ em água e a viabilidade em aplicação em pequenos lagos e rios.

Palavras-chave: Acidificação; Biorremediação; Ecossistemas aquáticos.

INTRODUÇÃO

Atualmente, grande quantidade de corpos d'água, como oceanos, rios e mares, sofrem com a poluição proveniente do lançamento de esgotos residenciais, urbanos e industriais na água, descarte irregular de resíduos sólidos e seu uso irresponsável. Estes problemas, além de gerar consequências ambientais (como degradação, prejuízo a fauna local e disseminação de doenças),

afeta comunidades dependentes dessas águas (pesca, abastecimento, irrigação, dentre outros), como a própria população Uberlandense. Além disso, as emissões interruptas de dióxido de carbono e seus efeitos em corpos hídricos também é um fator preocupante à população mundial. A poluição hídrica não apenas compromete a biodiversidade aquática, mas também ameaça diretamente a saúde, a economia e a qualidade de vida das populações humanas que dela dependem (Tundisi; Matsumura, 2010).

O sistema terrestre possui processos naturais de captura e sequestro de CO₂, que desempenham um papel crucial na manutenção de CO₂ na atmosfera (Yamasaki, 2003). Entretanto, quando uma mudança (aumento) de CO₂ ocorre em um curto intervalo de tempo (ou seja, menos de cerca de 10 anos), o pH da água pode sofrer influência, visto que é relativamente sensível ao CO₂ adicionado (Caldeira; Wickett, 2003). Os principais impulsionadores do aumento das concentrações atmosféricas de CO₂ são a combustão de combustíveis fósseis, o desmatamento, as práticas agrícolas e a produção de cimento, que desempenham um papel significativo no aumento da concentração de CO₂ na atmosfera (Nunes, 2023).

Esse aumento exponencial de CO₂ ao longo de aproximadamente 200 anos tem causado a dissolução significativa desse gás em corpos d'água (Cai, 2011), gerando mudanças na química da superfície da água, além de impactos na biota e nos ecossistemas marinhos (Cai, 2011; Salt et al., 2016; Kerr et al., 2016). Ao ser absorvido na água, o CO₂ sofre hidrólise e forma o ácido carbônico (H₂CO_{3(aq)}), essa absorção do CO₂ no meio marinho propicia a dissociação iônica (processo de separação de íons que ocorrem em compostos iônicos ao serem dissolvidos em água) do H₂CO_{3(aq)} que tem como produtos os íons hidrogênio (H⁺) e bicarbonato (HCO₃⁻) e íons carbonato (CO₃²⁻) (Coelho, 2022).

Além disso, a maior absorção do CO₂ suscita o aumento da reação entre o CO₂ e os íons CO₃²⁻, formando mais bicarbonato e reduzindo a disponibilidade de carbonato no ambiente. Essa redução promove desequilíbrio do sistema que, em condições normais, controla a acidez da água e funciona como um tampão natural para o pH (Coelho, 2022). Ademais a acidificação também ocasiona na má formação de conchas de seres calcificadores (como ostras e corais), devido a redução da quantidade de carbonato de cálcio na água. Além disso, essa acidez aquática desestabiliza o organismo de peixes, provocando perda de sentidos como ecolocalização, tornando-os mais vulneráveis a predadores e, conseqüentemente, podendo afetar em comunidades pesqueiras locais e culturas litorâneas. A acidificação dos ambientes aquáticos pode prejudicar as funções neurossensoriais de peixes, reduzindo sua capacidade de orientação e defesa, o que aumenta a

vulnerabilidade a predadores e impacta diretamente comunidades humanas que dependem da pesca (Domenici et al., 2019).

A remediação é um método importante para auxiliar em processos de redução de efeitos causados por compostos inorgânicos em rios. Biorremediação é um processo no qual organismos vivos, normalmente plantas ou microrganismos, são utilizados tecnologicamente para remover ou reduzir (remediar) poluentes no ambiente. Este processo biotecnológico de remediação tem sido intensamente pesquisado e recomendado pela comunidade científica atual como uma alternativa viável para o tratamento de ambientes contaminados, tais como águas superficiais, subterrâneas e solos, além de resíduos e efluentes industriais em aterro ou áreas de contenção (Gayland; Bellinasso; Manfio, 2005).

É frequentemente considerada um método econômico e está gradualmente abrindo caminho para aplicações em situações de poluição ambiental (Ashraf et al., 2019). Uma das técnicas mais usadas para a biorremediação é a utilização de plantas para a absorção de contaminantes em águas, essa absorção ocorre pelo processo de metabolismo de microrganismos ou plantas. Esta metodologia é potencialmente menos prejudicial ao meio ambiente do que os diversos métodos baseados em escavação (Azubuike et al., 2016) para remover poluentes do solo ou água.

De acordo com o tipo de aplicação, é possível classificar a biorremediação como um processo *in-situ* (realizado no local poluído) ou *ex-situ* (realizado fora do local poluído), e embora os processos de biorremediação *ex-situ* sejam geralmente mais caros devido às despesas de escavação e transporte, eles podem ser aplicados para remover um número maior de contaminantes sob condições controladas. Por outro lado, apesar da ausência de custos de escavação, às vezes o custo de instalação do equipamento no local, juntamente com a impossibilidade de ver e realizar um controle eficaz abaixo da superfície da área contaminada, pode tornar os métodos de biorremediação *in-situ* inviáveis (Silva et al., 2020).

Dentre os métodos de remediação existentes, a fitorremediação é uma das técnicas utilizadas na biorremediação e refere-se ao uso de plantas em locais poluídos para promover interações biológicas, físicas e químicas para atenuar a toxicidade dos contaminantes (Godheja, *et al.*, 2019). Há seis diferentes maneiras de avaliar a interação dessas plantas com os contaminantes, sendo elas: fitoextração, fitotransformação/fitodegradação, fitovolatilização, fitoestabilização, rizofiltração (filtragem através das raízes) e rizodegradação/fitoestimulação (ITRC, 1999).

O projeto de um sistema de fitorremediação varia de acordo com os contaminantes, as condições do local, o nível de limpeza necessário e as plantas utilizadas (*Phytoremediation Technology Evaluation, Schnoor*). Além disso, cada técnica de fitorremediação exigem diferentes requisitos de projeto, entretanto, algumas das considerações que devem ser feitas são:

- O nível de contaminantes;
- O tratamento desses contaminantes;
- Taxa de absorção de contaminantes e tempo de limpeza necessários.

A seleção da planta é determinada tanto pelo contaminante que será biorremediado quanto pelo local onde essa planta será aplicada. Em climas temperados, por exemplo, as freatófitas (como o álamo híbrido, salgueiro, choupo) são mais utilizadas devido ao seu rápido crescimento e sua capacidade de enraizamento profundo. Além disso, para tratamento de água ou solo, por exemplo, com contaminantes como chumbo, zinco, cádmio e níquel, são utilizadas plantas como girassóis e mostarda indiana, para o chumbo; *Thlapsi arvense* (*Pennycress*) para os demais poluentes.

Há também o uso de espécies aquáticas para despoluição da água, como a aguapé (*Eichhornia auriculata*), a alface-d'água (*Pistia stratiotes*), a orelha-de-onça (*Salvina auriculata*) e a taboa (*Typha domingensis*). A biomassa produzida pelas macrófitas pode ter vários fins, como forragem para animais (peixes, suínos, aves etc.), adubo orgânico, indústria, obtenção de biogás, entre outros (Pott; Pott, 2002).

Para tanto, nas análises de água, é necessário que seja avaliada composição desta água e qual objeto foco em observação. Uma das metodologias mais utilizadas para a remediação de espaços aquáticos é a lentilha-d'água (*Lemna aequinoctialis*), também denominada de *lemnaceas*, e essa planta aquática possui potencial de absorção de dióxido de carbono através do processo fotossintético. A lentilha-d'água cresce rapidamente e cobre a superfície de corpos hídricos em poucos dias, absorvendo nutrientes (N, P) e metais pesados, isso ajuda a controlar eutrofização e remover contaminantes (Landolt; Kandler, 1986; Nucci, 2024). Além disso, ela não requer equipamentos sofisticados, sendo uma alternativa sustentável e acessível para tratamento de águas (Panda; Kar, 2021).

Objetivos

Objetiva-se com essa pesquisa, identificar o potencial da lentilha-d'água na biorremediação de ambientes aquáticos com incidência de carbono em concentrações maiores as esperadas para o local aplicando como mecanismo de avaliação a metodologia citogenética com *Allium cepa*.

METODOLOGIA

O experimento será conduzido na Escola Estadual Frei Egídio Parisi, localizada na Avenida Dr. Laerte Vieira Gonçalves, Bairro Segismundo Pereira, 2926-B – em Uberlândia/MG. Com as atividades desenvolvidas no laboratório de ciências da escola.

O experimento será realizado em delineamento experimental de blocos casualizados em esquema 2x3 (dois tratamentos com concentrações de dióxido de carbono de mesma concentração de 15mg/L em três repetições), totalizando seis recipientes de avaliação. Após, os tratamentos serão submetidos a avaliação citogenética com *Allium cepa*.

1. Aplicação de CO₂ na água

Inicialmente, produziremos CO₂ através da reação de neutralização com vinagre (CH₃COOH) e bicarbonato (NaHCO₃). O produto dessa reação o gás carbônico (CO₂), que estará dentro de um sistema contendo, além das respectivas quantidades de vinagre e bicarbonato, utilizando um *erlenmeyer* com saída lateral ligado a um tubo de silicone transparente que conduzirá o gás para os aquários de acrílico com água; uma proveta graduada e um béquer (Artdej; Thongpanchang; Hovede, 2008).

Após a condução, o CO₂ formado reagirá com a água formando H₂CO₃ (ácido carbônico), que ao liberar íons de hidrogênio (dissociação iônica) deixará a água mais ácida. As concentrações de CO₂ serão avaliadas a partir do método titulométrico *Standart of Methods* para avaliação da concentração deste elemento em água (Seron, 2013). Para a titulação será utilizado como titulante (concentração conhecida) o ácido forte H₂SO₄ (ácido sulfúrico) e como concentração desconhecida o CO₂ (analito). Ademais, também será utilizado um indicador ácido-base a fenolftaleína.

Após a inserção do CO₂ e determinação da concentração em água serão feitas avaliações diárias de controle durante um tempo mínimo de cinco dias, a fim de avaliar possíveis alterações nas suas concentrações na água. Serão avaliados, além do nível de CO₂, as condições de umidade, temperatura e incidência solar. Caso ocorram alterações, os seguintes critérios precisarão ser pontuados:

- a) Em quantos aquários houve alterações;
- b) Após quantos dias houve oscilação de CO₂;
- c) Quanto de CO₂ foi modificado.

Assim, utilizando as respostas dos parâmetros a), b) e c), o grupo poderá avaliar a possibilidade de reaplicação de mg/L de CO₂. Além disso, esses dados também serão utilizados para previsões de futuras reposições que precisarão ser feitas, com o objetivo de manter a concentração de 15 mg/L nos aquários até o momento da experimentação com lentilhas-d'água.

2. Montagem do experimento

O experimento será montado em seis aquários de acrílicos com características de 20x28x25cm e volume de água de aproximadamente 11L, sendo três aquários para inserção de lentilhas d'água e três sem a presença das plantas.

Os aquários serão armazenados em local protegido do vento e com incidência solar, pH 7-8 e temperatura entre 17,5°C e 30°C (Skillicorn, 1993). Dessa forma, serão registradas as alterações da água e as condições do tempo de 5 em 5 dias, totalizando 30 dias de análise.

Tabela 1: Tabela com os dois tratamentos abordados

Tratamentos	Objetivo	Fatores de análise	Período de análise
Com lentilha-d'água	Avaliar possível redução da concentração de CO ₂ .	- Condições da água (pH, temperatura, entre outros); Condições atmosféricas (umidade, temperatura, entre outros); Quantidade de lemnáceas na água.	5 a 30 dias.
II) Sem lentilha-d'água	Comparar ambas as concentrações.	- Condições da água (pH, temperatura, entre outros); Condições atmosféricas (umidade, temperatura, entre outros).	5 a 30 dias.

Autoria própria.

Além disso, devido à alta produção de biomassa das lentilhas-d'água, faremos retiradas semanais de parte delas nos aquários. As lentilhas-d'água removidas podem ter várias utilidades, principalmente na criação de peixes e aves, em estado fresco ou como ração, ou em forma peletizada (Pott; Pott, 2002). As lentilhas-d'água excedentes serão reutilizadas no espaço agroecológico da Escola Estadual Frei Egídio Parisi, como fonte de alimento para animais e como compostagem.

3. Avaliação dos resultados

3.1. Avaliação com *Allium cepa*

Após a finalização dos experimentos com lemnáceas, será utilizado o método citogenético com *Allium cepa* para fazer uma avaliação dos resultados utilizando suas raízes. Posteriormente, encaminharemos as radículas geneticamente lesionadas ao Instituto de Biotecnologia da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), laboratório de citogenética, para a sua laminação.

Então será realizado a avaliação das lâminas para identificar aberrações cromossômicas, e com isso detectar lesões visíveis a microscópio, decorrentes de mudanças na estrutura cromossômica padrão dos organismos, resultantes de quebras ou trocas de material genético entre os cromossomos (Swierenga et al., 1991) ou de alterações no número de cromossomos. Além disso, a *A. cepa* tem sido indicada como um eficiente organismo-teste de citotoxicidade e genotoxicidade, devido às características que possui na sua cinética de proliferação, pelo crescimento rápido de suas raízes, grande número de células em divisão, alta tolerância a diferentes condições de cultivo, disponibilidade durante o ano todo e pelo seu fácil manuseio (Grant, 1982; Fiskesjö, 1985; Matsumoto et al., 2006). Rotineiramente, o sistema-teste *A. cepa* tem sido aplicado para examinar a influência de agentes contaminantes presentes em recursos hídricos (Christofoletti et al., 2007).

Os bulbos serão de uma mesma variedade de cebola, pois possuem maior facilidade de manuseio e raízes maiores do que com a germinação de sementes. Esses bulbos serão devidamente preparados raspando e limpando o prato, região inferior do bulbo onde ocorre o crescimento das raízes, para permitir o surgimento das gemas radiculares. Em seguida, será necessário estimular o desenvolvimento do meristema radicular colocando o prato em contato com água destilada por 24 horas, em temperatura ambiente e baixa iluminação (Seemann, 2021).

Após essa preparação, eles serão adicionados aos dois tratamentos feitos pelo grupo, tanto no experimento com lentilhas-d'água quanto no somente com CO₂. Nesse processo, os bulbos desenvolverão suas raízes em contato com as substâncias acidificadas com tratamento de lemnáceas e sem o tratamento com *lemnaceas*, onde durante o crescimento elas absorverão os poluentes ali existentes.

Quando as raízes atingirem cerca de 2cm de comprimento, elas serão separadas e coletadas por volta das 12 ou 14 horas (células meristemáticas apresentam maior atividade mitótica nesse horário). Após a coleta, as raízes serão armazenadas em frascos de vidro devidamente etiquetados, contendo o fixador Canoy I, por 6 a 8 horas, à temperatura ambiente. Decorrido este período,

haverá a troca do fixador por um novo Carnoy I recém preparado e guardaremos em geladeira até a confecção das lâminas (Apostila – Curso *Allium cepa*). Após as coletas das amostras, as partes excedentes serão destinadas à compostagem do espaço agroecológico da escola.

3.2. Análise Estatística

Após as coletas e análises, os dados serão registrados em uma planilha e os resultados submetidos a análises estatísticas utilizando o programa RStudio, para avaliação de atendimento as pressuposições e apresentação de resultados significativos a 0,05 de significância (Posit Team, 2025).

RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se avaliar a viabilidade de ensaios citogenéticos em ambientes escolar visando a biorremediação, bem como observar os potenciais de utilização de plantas aquáticas para este fim. Compreender aspectos químicos envolvidos para o processo inserção de CO₂ em água para experimentação, assim como metodologias de titulação para quantizar substâncias. Além de identificar o potencial da lentilha-d'água para fitorremediação de ambientes aquáticos em relação as concentrações de dióxido de carbono presentes em águas por meio de ensaio citogenético utilizando raízes de cebola, potencialmente viável para a redução de acidez.

CONCLUSÕES

A água possui suma importância para a vida, sendo um fator fundamental para a manutenção e continuidade dos ecossistemas. Sem a água, seria inviável a sobrevivência da maioria dos seres vivos conhecidos, incluindo os seres humanos. Ultimamente, observa-se que principalmente com a queima de combustíveis fósseis, houve aumento dos níveis de CO₂ atmosféricos, ocasionando em drásticas mudanças e malefícios nos ambientes terrestres e marinhos, sendo essa uma problemática que não deve ser ignorada.

A fitorremediação é uma das alternativas para a obtenção de ambientes mais saudáveis, trata-se do uso de plantas e suas propriedades para redução de poluentes e metais pesados no solo ou água, visando manter o equilíbrio e integridade dos ecossistemas. A lentilha-d'água tem um potencial notável como fitorremediadora de corpos d'água, pois além do seu rápido desenvolvimento e ser de fácil cultivo, ela absorve o CO₂ dos ambientes aquáticos, controlando os níveis de dióxido de carbono. Todavia, ela deve ser melhor avaliada quanto suas aplicações em diferentes corpos de

água, e mediante a diferentes concentrações de CO₂, como também sua aplicação a outras fontes de água visando um controle de contaminantes ali presentes.

Por fim, ressaltamos também a importância da conscientização popular e governamental acerca do cuidado com os nossos ambientes aquáticos e os impactos que as emissões de CO₂ têm provocado no mundo. Portanto, torna-se crucial haver maiores incentivos do Estado destinados ao desenvolvimento de pesquisas abordando essa problemática, com o propósito de encontrar novas estratégias e alternativas de mitigação da acidificação das águas.

REFERÊNCIAS

ARTDEJ, Romklao; THONGPANCHANG, Tienthong; HOVEDE, Stacy Dewees. A Dramatic Classroom Demonstration of Limiting Reagent Using the Vinegar and Sodium Hydrogen Carbonate Reaction. **Journal Of Chemical Education**, [S.L.], v. 85, n. 10, p. 1382-1384, out. 2008. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/ed085p1382>.

BELLINASSO, Maria de Lourdes; GAYLARDE, Cristina Claire; MANFIO, Gilson Paulo. BIORREMEDIAÇÃO: aspectos biológicos e técnicos da biorremediação de xenobióticos. **Meio Ambiente: Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, [S. L.], n. 34, p. 36, jan./jun. 2005.

CALDEIRA, Ken; WICKETT, Michael E.. Anthropogenic carbon and ocean pH: the coming centuries may see more ocean acidification than the past 300 million years. **Nature**. Califórnia, p. 365-365. 25 set. 2003.

COELHO, Cíntia de Albuquerque Wanderley. **SISTEMA CARBONATO E FLUXOS DE DIÓXIDO DE CARBONO NO ESTUÁRIO DA LAGOA DOS PATOS**. 2022. 137 f. Tese (Doutorado) - Curso de Oceanologia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2022. Cap. 1.

FALKENBERG, Laura J.; BELLERBY, Richard G.J.; CONNELL, Sean D.; FLEMING, Lora E.; MAYCOCK, Bruce; RUSSELL, Bayden D.; SULLIVAN, Francis J.; DUPONT, Sam. Ocean Acidification and Human Health. **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, [S.L.], v. 17, n. 12, p. 100-100, 24 jun. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph17124563>.

ITRC. Environmental Research Institute Of The States (org.). **Decision Tree Document: phytoremediation decision tree**. [S. L.], p. 1-25, nov. 1999.

NUNES, Leonel J. R.. The Rising Threat of Atmospheric CO₂: a review on the causes, impacts, and mitigation strategies. **Environments**, [S.L.], v. 10, n. 4, p. 66, 14 abr. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/environments10040066>.

POTT, Vali Joana; POTT, Arnildo. **Documentos 133**: potencial de uso de plantas aquáticas na despoluição da água. Campo Grande: Ecila Carolina Nunes Zampieri Lima, 2002. 25 p. Disponível em: https://old.cnpqc.embrapa.br/publicacoes/doc/doc_pdf/Doc133.pdf. Acesso em: 20 set. 2025.

POSIT TEAM (2025). RStudio: Integrated Development Environment for R. Posit Software, PBC, Boston, MA. URL <http://www.posit.co/>

SEEMANN, Luiza. **Construção e utilização de projeto de Wetland construído para mitigação dos efeitos citogenotóxicos de afluentes urbanos contaminados**. 2021. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Biotecnologia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021. Cap. 1.

SÉRON, Lúcia Helena. **Preparação de Soluções diluídas de ácidos e bases fortes, padronização e titulações ácido-base.** 2013. Disponível em: <http://sistemas7.sead.ufscar.br:8080/jspui/handle/123456789/1910?mode=full>. Acesso em: 20 set. 2025.

SILVA, Israel Gonçalves Sales da; ALMEIDA, Fabíola Carolina Gomes de; SILVA, Nathália Maria Padilha da Rocha e; CASAZZA, Alessandro Alberto; CONVERTI, Attilio; SARUBBO, Leonie Asfora. Soil Bioremediation: overview of technologies and trends. **Energies**, [S.L.], v. 13, n. 18, p. 4664, 8 set. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/en13184664>.

WANG, Meng; CHEN, Shibao; JIA, Xingyong; CHEN, Li. Concept and types of bioremediation. **Handbook Of Bioremediation**, [S.L.], p. 3-8, 2021. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-819382-2.00001-6>.