

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA ALFACE-D'ÁGUA (*Pistia stratiotes*) NO TRATAMENTO DA ÁGUA DO RIO CUBATÃO/SP UTILIZANDO O MÉTODO EX SITU

Ana Beatriz da Silva Feitosa¹
Analy de Melo Linhares Marques²
Débora Barretto Messias Nascimento³
Lucas Miguel Ramiro de Oliveira⁴
Thiago Andrade da Mata⁵

RESUMO

A *Pistia stratiotes*, conhecida como alface-d'água, é uma planta aquática capaz de absorver poluentes de corpos hídricos. No Rio Cubatão (SP), a poluição hídrica possui um histórico marcante na cidade (ASCENSÃO, 2024), tornando necessária a avaliação de métodos eficientes de fitorremediação. O presente trabalho tem como objetivo analisar a eficácia fitorremediadora dessa macrófita. A pesquisa divide-se entre o estudo da literatura, por meio de artigos científicos, e a análise de amostras no laboratório pertencente à Etec de Cubatão – utilização do método *ex-situ*. O acompanhamento ocorreu em 79 dias, o que corresponde a aproximadamente 11 semanas, resultando em 5 análises realizadas no total. Foram mensuradas propriedades físicas (temperatura e turbidez), químicas (pH, nitrito, amônia, dureza GH, dureza KH e concentração de sólidos), microbiológicas (identificação de coliformes totais e coliformes fecais) da água coletada, sob a ação da planta. Os resultados indicaram a diminuição dos compostos tóxicos nas amostras de análise. Os resultados apontam que a *Pistia stratiotes* pode representar uma ótima ferramenta de fitorremediação, podendo ser eficaz na remoção de poluentes presentes na água do rio Cubatão na cidade de Cubatão-SP.

PALAVRAS-CHAVE: Alface-d'água, *Pistia stratiotes*, tratamento de água, fitorremediação, Rio Cubatão, poluição hídrica, planta aquática

ABSTRACT

Pistia stratiotes, known as water lettuce, is an aquatic plant that can absorb pollutants from water bodies. In the Cubatão River (SP), water pollution has a long history in the city (ASCENSÃO, 2024), making it necessary to evaluate efficient phytoremediation methods. The present study aims to analyze the effectiveness of this macrophyte in phytoremediation. The research is divided between a literature review, using scientific articles, and the analysis of samples in the laboratory belonging to Etec de Cubatão, using the *ex-situ* method. The monitoring took place over 79 days, corresponding to approximately 11 weeks, resulting in a total of five analyses. Physical (temperature and turbidity), chemical (pH, nitrite, ammonia, GH hardness, KH hardness, and solids concentration), and microbiological (identification of total coliforms and fecal coliforms) properties of the collected water were measured under the action of the plant. The results indicated a decrease in toxic compounds in the analysis samples. The results indicate that *Pistia stratiotes* may represent an excellent phytoremediation tool, which may be effective in removing pollutants present in the water of the Cubatão River in the city of Cubatão-SP.

KEYWORDS: Water lettuce, *Pistia stratiotes*, water treatment, phytoremediation, Cubatão River, water pollution, aquatic plant

¹Aluna Ensino Médio Integrado ao Técnico em Meio Ambiente, na Etec de Cubatão, ana.feitosa10@etec.sp.gov.br

²Aluna Ensino Médio Integrado ao Técnico em Meio Ambiente, na Etec de Cubatão, analy.marques@etec.sp.gov.br

³Aluna Ensino Médio Integrado ao Técnico em Meio Ambiente, na Etec de Cubatão, debora.nascimento72@etec.sp.gov.br

⁴Aluno Ensino Médio Integrado ao Técnico em Meio Ambiente, na Etec de Cubatão, lucas.oliveira1660@etec.sp.gov.br

⁵Aluno Ensino Médio Integrado ao Técnico em Meio Ambiente, na Etec de Cubatão, thiago.mata01@etec.sp.gov.br

1. INTRODUÇÃO

A degradação da qualidade da água tornou-se uma preocupação, especialmente em regiões com histórico de atividades industriais, configurando-se como um dos principais desafios ambientais contemporâneos. Nessa realidade, destaca-se a necessidade de adotar práticas de baixo custo e ambientalmente sustentáveis para o tratamento e recuperação das águas contaminadas. Entre as alternativas disponíveis, a fitorremediação desponta como uma tecnologia promissora, utilizando plantas capazes de absorver, transformar ou metabolizar substâncias tóxicas, contribuindo para a melhoria da qualidade dos corpos hídricos.

O crescimento populacional e urbano desordenado agravam o lançamento de efluentes e resíduos nos cursos d'água, comprometendo os ecossistemas e a saúde pública (TUCCI, 2008). Sem infraestrutura adequada de saneamento, muitos esgotos são despejados diretamente nos rios, tornando-os impróprios para o consumo. Isso favorece a propagação de doenças e a morte de organismos aquáticos por falta de oxigênio.

Segundo o Sistema de Informações sobre Saneamento (SNIS), no ano de 2022, apenas 58,79% da população de Cubatão possui acesso aos serviços de esgotamento sanitário, isto é, 46.308 habitantes vivem sem esse recurso essencial. O índice está abaixo da média estadual de 90,5% e da nacional de 55,5%, evidenciando a necessidade urgente de investimentos em infraestruturas de saneamento básico no município.

O problema de pesquisa do presente artigo tem por pergunta: “As plantas aquáticas são eficazes na remoção de compostos tóxicos presentes nos corpos hídricos?”. Assim, três hipóteses foram investigadas: o método de fitorremediação com alface d'água apresenta-se

como uma alternativa acessível; a *Pistia stratiotes* possui uma boa aplicação com a utilização do método *ex-situ*; e, por fim, a planta pode oferecer uma boa eficiência na remoção de poluentes tóxicos.

A escolha da *Pistia stratiotes* deve-se às suas características adaptativas ao crescimento rápido e à eficácia na remoção de poluentes em ambientes aquáticos de água doce. Ressalta-se que a aplicação desse método é pouco explorado na Baixada Santista, reforçando a relevância e originalidade desta pesquisa.

O objetivo geral procura analisar a eficiência da planta aquática como fitorremediadora no laboratório da Etec de Cubatão, por meio do método *ex-situ*. Os objetivos específicos são: investigar a eficiência fitorremediadora da *Pistia stratiotes*; melhorar a qualidade da água, por meio da realização de testes físico-químicos e microbiológicos em ambiente controlado; observar alterações nas características físico-químicas e biológicas da água e discutir a eficiência e viabilidade do uso da planta aquática como fitorremediadora.

O presente trabalho foi desenvolvido com pesquisas qualitativas, quantitativas, de campo, experimentais e bibliográficas. A abordagem qualitativa foi utilizada para compreender o problema ambiental e analisar os impactos da contaminação da água por nitrito, amônia e coliformes. A abordagem quantitativa e a pesquisa experimental foram essenciais para acompanhar a fitorremediação e analisar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Por fim, a pesquisa de campo foi empregada para efetuar a coleta da amostra de água do rio Cubatão e analisar o local, observando os fatores contribuintes para a degradação do ambiente.

2. DESENVOLVIMENTO

A água é um dos recursos naturais essenciais do planeta, indispensável à vida humana, ao equilíbrio dos ecossistemas e ao desenvolvimento das atividades econômicas. No contexto brasileiro, sua importância é ainda maior, visto que boa parte da eletricidade gerada provém de hidrelétricas. Setores da agricultura e da indústria dependem diretamente da disponibilidade hídrica (FERNANDES, 2020). Isso demonstra que a água é também um recurso estratégico para o desenvolvimento sustentável e o bem-estar social.

Embora seja um recurso renovável, a água não é inesgotável. O crescimento urbano, a expansão das fronteiras agrícolas e o aumento populacional exercem pressões constantes sobre rios, lagos e aquíferos, afetando a qualidade e quantidade de água disponível (SILVA, 2020). O despejo inadequado de resíduos, o uso excessivo de agrotóxicos e a degradação de áreas

naturais comprometem o equilíbrio dos corpos hídricos, demonstrando que a abundância de água no Brasil não garante o seu uso sustentável (ANDRADE, 2023).

Para enfrentar esses desafios, foi criada a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que reconhece a água como um bem público de valor econômico e estabelece princípios de gestão descentralizada e participativa, baseados na bacia hidrográfica como unidade de planejamento. Essa abordagem visa integrar o abastecimento humano, a produção agrícola, a geração de energia e a conservação ambiental. De acordo com Costa et al. (2012, p. 45), “a degradação ambiental e a má gestão podem comprometer seriamente a oferta de água”, reforçando a necessidade de planejamento e monitoramento constantes.

A poluição hídrica é um problema ambiental de grande magnitude, que afeta a saúde humana e os ecossistemas aquáticos (MORAES E JORDÃO, 2002). Os rios, lagos e aquíferos podem ser contaminados por uma variedade de agentes, incluindo resíduos industriais, efluentes domésticos, produtos agrícolas e microrganismos patogênicos. Essa contaminação compromete a segurança da água para consumo, agricultura e recreação, ao mesmo tempo em que afeta a fauna e flora aquáticas (SOUSA, 2024).

Outro desafio moderno é o surgimento de poluentes emergentes, como hormônios, medicamentos e produtos de higiene pessoal. Estes compostos não são totalmente removidos pelo tratamento convencional e podem alterar o equilíbrio fisiológico de organismos aquáticos, com impactos potenciais à saúde humana (AMORIM, 2024, p. 33). Apesar da legislação brasileira, como a PNRH, fornecer diretrizes gerais para proteção da água, ainda existem lacunas no controle desses contaminantes.

Na década de 80, o rio Cubatão recebeu toneladas de resíduos industriais e esgoto doméstico sem tratamento, resultando na contaminação do local. Nesse período, a falta de saneamento básico e a ausência de infraestrutura contribuíram para a perpetuação das impurezas, transformando os rios em canais tóxicos impróprios para qualquer tipo de uso (ASCENSÃO, 2015). Considerando a amplitude dos poluentes, um dos impactos foi a redução no nível de oxigênio dos cursos d'água, impedindo o desenvolvimento e a sobrevivência da vida marinha, ocasionando a contaminação dos sedimentos e do estuário de Santos (SILVA, 2002).

Mediante essa crise, surge a necessidade de intervenção social e governamental, com parcerias de órgãos e empresas públicas, como a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), a fim de identificar e controlar as principais fontes poluidoras da cidade (VERDE,

2025). Outro meio de descontaminação é a fitorremediação, que consiste em um processo de retirada de contaminantes do ecossistema por meio do uso de plantas. Entretanto, é importante analisar a espécie a ser utilizada, pois o uso incorreto pode ocasionar efeitos reversos, como a eutrofização em partes hídricas (VASCONCELLOS; PAGLIUSO; SOTOMAIOR, 2012).

Na atualidade, a preocupação das indústrias pela qualidade ambiental aumentou. Com isso, as análises físico-químicas, conjunto de procedimentos que visam maior controle de qualidade e monitoramento de substâncias, tornaram-se comuns. Assim, é possível distinguir suas características, como: pH, amônia, nitrito, turbidez, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, temperatura e a presença de químicos. O pH é um indicador de acidez ou alcalinidade de uma solução, cuja variação afeta diretamente a estabilidade e a reatividade dos compostos químicos, conforme apontam estudos sobre equilíbrio ácido-base e formulações químicas (LORENCINI, 2025). Nesse caso, a amônia e o nitrito são compostos nitrogenados que ocorrem de forma natural, em função da quebra da matéria orgânica (SANTOS, 2023), e podem alterar sua substância se faltar o devido equilíbrio. A turbidez mostrará a presença de impurezas que não foram dissolvidas, tornando-se um dos principais parâmetros utilizados nas análises de qualidade de água (UFRJ, 2005).

Dentro do contexto ambiental, os parâmetros revelam-se indispensáveis, por garantir a potabilidade e analisar os riscos para a saúde humana, ocasionados por contaminantes específicos, como amônia e nitrito. Por fim, as análises físico-químicas tornam-se importantes para garantir a qualidade, a segurança e os resultados esperados.

Análises microbiológicas são um conjunto de procedimentos e técnicas laboratoriais com o objetivo de isolamento, identificação e quantificação de microrganismos, como bactérias, fungos e vírus (RODRIGUES et al., 2024); as técnicas e métodos utilizados em análises microbiológicas abrangem diversas abordagens. A escolha da técnica depende do tipo de amostra, do microrganismo alvo e dos objetivos específicos da análise (RODRIGUES et al., 2024). Avalia a qualidade da água que transita por determinados ambientes, ou seja, quando feita de maneira adequada, previne doenças por contaminação microbiológica (TRATAMENTO DE ÁGUA, 2024)

A fitorremediação é o processo de retirada dos componentes tóxicos de um meio terrestre, aquático ou aéreo, utilizando-se das plantas. Diferencia-se na multiplicidade de espécies e na diversidade dos modos de remediação. Sua atividade ocorre mediante a mitigação da poluição orgânica e dos metais pesados.

Dentre as espécies aquáticas, utilizou-se da *Pistia stratiotes* angiosperma. Essa macrófita beneficia o equilíbrio de nutrientes e a retirada de poluentes orgânicos, como o fósforo e a amônia, sendo a responsável pela retirada de 80% do nitrogênio total e do nitrogênio amoníaco (SOOKNAH; WILKIE, 2004). A *Pistia* é de fácil acesso financeiro e tem poucos problemas relacionados à sua presença. Sua utilização torna-se viável aos grupos de baixa renda, como a população rural e os povos ribeirinhos.

As macrófitas aquáticas são organismos vegetais que desenvolveram, ao longo dos anos, a capacidade de sobreviver em ambientes em que ocorra a presença estável de água, sejam eles de água doce ou salobra. Através dessas adaptações, elas obtêm a aptidão para sobreviver em diversos ambientes.

Diante disso, as plantas aquáticas podem ser classificadas em cinco grupos: submersas, flutuantes (fixas e livres), palustres, submersas de folhas emersas e marginais. As plantas aquáticas submersas possuem folhas mais flexíveis e finas; além disso, permanecem totalmente debaixo da água durante seu ciclo de vida, facilitando a absorção dos nutrientes que são dissolvidos na água (OLIVEIRA & PEREIRA, 2021). Flutuantes livres não possuem raízes fixas no solo e ficam na superfície dos ambientes hídricos. Essas características auxiliam na absorção de nutrientes, como o nitrogênio e o fósforo (SILVA ET AL., 2018). As flutuantes fixas possuem as suas raízes presas no substrato dos corpos d'água, com seu caule e folhas submersos, e as suas flores emersas na superfície da água, garantindo a sua reprodução (SANTOS, 2019).

A alface-d'água (*Pistia stratiotes*), planta aquática de flutuação livre e erva perene, é amplamente distribuída em regiões tropicais e subtropicais e destaca-se pela alta capacidade reprodutiva e pela eficiente absorção de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, o que a torna eficaz no controle da eutrofização e com potencial para a fitorremediação. Henry-Silva e Camargo (2006) enfatizam a eficiência da alface-d'água na remoção de nutrientes, contribuindo para o tratamento de águas residuais. Além disso, Mishra e Tripathi (2008) evidenciam sua habilidade em acumular metais pesados, reforçando sua importância como ferramenta biológica no tratamento de corpos d'água contaminados. Ademais, a espécie tem despertado o interesse por seu potencial econômico e ambiental, visto que a sua biomassa pode ser reaproveitada, após o processo de descontaminação, na produção de biogás, compostagem orgânica ou formulação de biofertilizantes, contribuindo para um modelo de economia circular e de baixo impacto ambiental. A literatura demonstra que a utilização da *Pistia stratiotes* como fonte de biomassa renovável é uma estratégia eficiente para o aproveitamento de resíduos biológicos e a redução

de poluentes, evidenciando o papel da planta na valorização de subprodutos ecológicos. Dessa forma, a alface-d'água revela-se uma alternativa promissora para o tratamento ecológico de águas poluídas, aliando eficiência ambiental, viabilidade econômica e benefícios sociais.

2.1. Metodologia

Inicialmente, um recipiente de vidro foi esterilizado em autoclave no laboratório da ETEC de Cubatão, garantindo condições assépticas para a coleta da amostra de água no Rio Cubatão. Além da amostra destinada às análises, coletaram-se aproximadamente 30 litros de água, distribuídos em quatro galões plásticos e transportados ao laboratório. Em seguida, a água foi transferida para um aquário de 34 litros, utilizado para o experimento de fitorremediação.



Figura 1. Coleta da água do rio Cubatão, município de Cubatão-SP.



Figura 2. Preparação do aquário no laboratório da ETEC de Cubatão-SP.

No aquário foram inseridos indivíduos de alface-d'água, acompanhados de um aerador, para manter a oxigenação e a circulação da água, além de uma luminária para fornecer iluminação artificial adequada à fotossíntese das plantas. Na primeira fase do experimento, utilizaram-se cerca de cinco plantas; na segunda fase, o número foi ampliado para aproximadamente vinte, visando aumentar a eficiência da fitorremediação.



Figura 3. Primeira aplicação das plantas no aquário do laboratório da ETEC de Cubatão-SP.



Figura 4. Segunda aplicação das plantas no aquário do laboratório da ETEC de Cubatão-SP.

O experimento teve duração total de 79 dias. A primeira fase foi interrompida pelo declínio das plantas, que foram descartadas adequadamente para evitar contaminação, sendo necessário reiniciar o procedimento. Nessa etapa, as análises foram realizadas em 13/08/2025 (amostra inicial) e 08/09/2025, 26 dias após a inserção das plantas. A segunda fase ocorreu entre 17/09/2025 e 13/11/2025, com análises semanais.

Durante as fases, foram avaliados os seguintes parâmetros de qualidade da água: temperatura, pH, amônia, nitrito, dureza carbonatada (KH), dureza geral (GH), turbidez, concentração de substâncias coloridas e presença de coliformes.

A temperatura foi aferida com termômetro digital. O pH foi determinado por fitas indicadoras. A temperatura é um parâmetro fundamental por influenciar a solubilidade de gases, a atividade microbiana e a velocidade das reações químicas. O pH determina as condições químicas do meio e afeta a forma ionizada de compostos como a amônia, que se torna mais tóxica em valores elevados.

As concentrações de amônia, nitrito e durezas (KH e GH) foram determinadas com o kit Labcon Test, seguindo as recomendações do fabricante. No teste de amônia, adicionaram-se 8 gotas dos reagentes 1 e 2, com tempo de reação de 3 minutos. A amônia é um indicador relevante de poluição por matéria orgânica e, em sua forma não ionizada (NH_3), apresenta grande toxicidade para organismos aquáticos. Para o nitrito, foram adicionadas 4 gotas de cada reagente, com tempo de reação de 10 minutos. O nitrito representa uma etapa intermediária do ciclo do nitrogênio e pode indicar desequilíbrios na nitrificação, além de ser tóxico para grande parte da biota aquática. As durezas foram analisadas imediatamente após a adição dos reagentes, considerando que KH expressa a capacidade de neutralização de ácidos e bases da água e GH indica a concentração de íons cálcio e magnésio, essenciais para a estabilidade físico-química do sistema.

A turbidez e a concentração de substâncias coloridas foram avaliadas com turbidímetro e fotocolorímetro. A turbidez indica a presença de partículas suspensas e de eventuais contaminantes associados, enquanto a coloração da água pode refletir matéria orgânica dissolvida ou poluentes de origem antrópica.

A análise microbiológica foi realizada com o teste Colilert para detecção de coliformes totais e *Escherichia coli*. Utilizaram-se recipientes de vidro previamente esterilizados em autoclave, contendo água destilada (controle) e a amostra do rio. Após a adição dos reagentes e homogeneização, as amostras foram incubadas por 24 horas e avaliadas sob luz ultravioleta,

permitindo identificar contaminação fecal. Após a leitura, todas as amostras foram novamente autoclavadas para descarte seguro.

Além disso, foi realizada a observação da água e das raízes das plantas no microscópio, permitindo uma análise detalhada das condições das plantas e da presença de partículas ou microrganismos visíveis.

2.2. Resultados e discussões

O presente estudo foi realizado com o objetivo de avaliar a eficiência da *Pistia stratiotes* no tratamento da água do Rio Cubatão, considerando parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Para isso, foram executadas duas etapas experimentais independentes, totalizando 79 dias de monitoramento.

A interpretação dos resultados obtidos foi feita com base nos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA n.º 357/2005, que define os padrões de qualidade para corpos de água superficiais no Brasil. A resolução foi utilizada para comparar os valores medidos antes e após o processo de fitorremediação, permitindo avaliar se houve aproximação dos parâmetros às condições esperadas para águas doces de Classe 2, categoria aplicável a rios destinados ao abastecimento público após tratamento convencional, à proteção da vida aquática e à recreação de contato primário.

A primeira etapa compreendeu as análises realizadas em 13/08/2025, referência inicial, e a coleta seguinte do dia 08/09/2025. Com o término da fase, o conteúdo do aquário foi descartado, e um novo sistema foi montado com água e plantas novas. A segunda etapa iniciou-se em 17/10/2025, com monitoramentos semanais até 13/11/2025. As discussões a seguir se fundamentam nos valores obtidos em cada medição.

A temperatura manteve-se estável nas coletas, oscilando entre 22 °C e 23 °C, em ambas as etapas. Essa estabilidade é relevante, pois estudos mostram que a *Pistia* apresenta crescimento máximo em torno de 25 °C com fotoperíodo de 12 horas, condições típicas de regiões tropicais ou subtropicais (CANCIAN, CAMARGO & SILVA, 2009), nas quais a faixa térmica adequada geralmente se encontra entre 20 °C e 30 °C. Assim, as condições experimentais não impuseram estresse térmico às plantas, garantindo que eventuais variações estivessem associadas ao processo de fitorremediação e não a efeitos desfavoráveis.

O pH apresentou estabilidade progressiva. Na primeira coleta, em 13/08/2025, o valor obtido foi de 6,0, caracterizando uma água levemente ácida. Nas coletas seguintes (08/09/2025, 17/10/2025, 24/10/2025, 31/10/2025 e 13/11/2025), o pH variou entre 7,0 e 7,2. Essa mudança

em direção à neutralidade é compatível com o estabelecimento da macrófita, que pode reduzir a acidez mediante absorção de íons hidrogênio e do próprio processo de fotossíntese, que consome CO₂ e contribui para o aumento do pH. A estabilidade observada ao longo da segunda etapa indica que o sistema atingiu equilíbrio químico, favorecido pelo contato prolongado entre a planta e o meio aquático.

A amônia, um dos principais compostos nitrogenados analisados, apresentou comportamento característico de sistemas biológicos em ciclo de remoção e conversão. Na primeira etapa, a concentração inicial de 0,002 ppm em 13/08/2025 reduziu-se para 0,001 ppm em 08/09/2025, correspondendo a uma diminuição de 50%. Esse resultado indica que a macrófita atuou com eficiência na captação da amônia, seja por assimilação direta para a construção de biomassa vegetal ou pela estimulação de comunidades microbianas nitrificantes associadas às raízes. Na segunda etapa, o valor inicial foi de 0,004 ppm em 17/10/2025, aumentando para 0,007 ppm em 24/10/2025, o que pode indicar o período de adaptação da macrófita ao novo ambiente ou a liberação residual de compostos nitrogenados provenientes de partículas orgânicas presentes na água. Contudo, após o estabelecimento do sistema, as concentrações retornaram a valores reduzidos, atingindo 0,001 ppm em 31/10/2025 e em 13/11/2025. Isso demonstra que a *Pistia* tem a capacidade de remover amônia do meio, mostrando consistência no processo de fitorremediação.

O nitrito apresentou um comportamento semelhante, porém com quedas acentuadas. Na primeira etapa, o valor inicial de 1,0 ppm em 13/08/2025, considerado perigoso em sistemas aquáticos, foi reduzido para 0,0 ppm em 08/09/2025. Na segunda etapa, a concentração inicial voltou a apresentar 1,0 ppm, em 17/10/2025, evidenciando que a água coletada para o reinício possuía carga significativa desse composto. Porém, na análise de 24/10/2025, o nitrito diminuiu para 0,5 ppm, classificado como crítico, e atingiu 0,0 ppm em 31/10/2025 e 13/11/2025. A eliminação total do nitrito nas etapas reforça o potencial da *Pistia stratiotes* como agente fitorremediador, devido à alta toxicidade do nitrito.

No que se refere à dureza da água, observaram-se modificações significativas que demonstram a influência direta da presença da macrófita. A dureza total (GH), inicialmente registrada como 6 °dGH nas duas primeiras coletas, indicava variação na água, de mole a moderada. Após o reinício experimental, o GH reduziu-se para 1 °dGH em 17/10/2025, 24/10/2025, 31/10/2025 e 13/11/2025, caracterizando água muito branda. A queda significativa sugere que íons cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺), responsáveis pela dureza, podem ter sido progressivamente absorvidos pela planta ou precipitados em função de mudanças químicas

causadas pela atividade biológica do sistema. A dureza carbonatada (KH) oscilou de 3 dH, nas primeiras coletas, para 1 dH, em 17/10/2025, e novamente 3 dH nas análises de 24/10/2025, 31/10/2025 e 13/11/2025. A instabilidade indica que a capacidade tampão da água sofreu alterações no equilíbrio ácido-base influenciado pela fotossíntese, respiração e reações químicas associadas à mineralização de matéria orgânica.

A turbidez apresentou comportamento típico de sistemas submetidos à fitorremediação, com tendência geral de redução. Na primeira etapa, a turbidez inicial de 4,28 NTU, em 13/08/2025, caiu para 1,90 NTU em 08/09/2025, redução expressiva de 55,6%. Demonstra que a *Pistia stratiotes* promoveu a sedimentação e retenção de partículas em suspensão, por sombreamento, filtragem natural pelas raízes ou interação com biofilmes aderidos ao sistema radicular. Na segunda etapa, os valores foram de 2,96 NTU em 17/10/2025, 3,29 NTU em 24/10/2025, 2,29 NTU em 31/10/2025 e 1,0 NTU em 13/11/2025. A variação observada entre 17/10/2025 e 24/10/2025 pode estar relacionada ao processo de adaptação das plantas ou à movimentação das partículas durante a montagem do novo sistema. Entretanto, a queda progressiva até 1,0 NTU confirma que, após estabilização, o sistema retorna aos níveis de baixa turbidez, indicando eficiência contínua da macrófita na clarificação da água.

As substâncias coloridas, medidas pelo fotocolorímetro, apresentaram reduções significativas. Na primeira etapa, o valor registrado em 13/08/2025 foi de 65,16 mg/L, reduzindo-se para 48,18 mg/L em 08/09/2025, equivalente a uma diminuição de 26,1%. Na segunda etapa, o valor inicial de 51,02 mg/L, observado em 17/10/2025, diminuiu para 23,19 mg/L em 24/10/2025, aumentou para 48,12 mg/L em 31/10/2025 e atingiu seu valor mínimo, 21,71 mg/L, em 13/11/2025. A redução final representa uma queda de 57,5% na segunda etapa. A elevação leve em 31/10/2025 pode estar relacionada ao desprendimento de matéria orgânica ou pigmentos provenientes das raízes durante o processo de adaptação das plantas, mas a queda subsequente demonstra o restabelecimento do processo de remoção. A redução das substâncias coloridas está associada à absorção direta pela macrófita e à decantação favorecida pela superfície ampliada das raízes, que funcionam como filtros naturais ao reter partículas e compostos dissolvidos presentes na água.

No âmbito microbiológico, os resultados indicaram presença contínua de coliformes totais e fecais em todas as coletas e etapas. Demonstra que, apesar da eficiência da macrófita na remoção de compostos químicos e na melhoria visual d'água, ela não possui capacidade de eliminar totalmente microrganismos patogênicos.

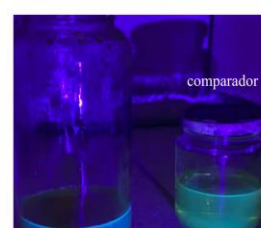




Figura 9. Resultado da segunda etapa de análise microbiológica após o processo de fitorremediação.



Figura 10. Resultado da segunda etapa de análise microbiológica após o processo de fitorremediação.

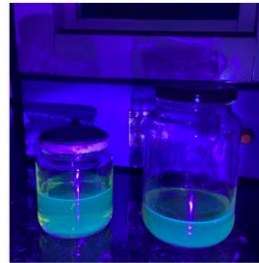


Figura 11. Resultado da primeira etapa de análise microbiológica após o processo de fitorremediação com a luz UV.

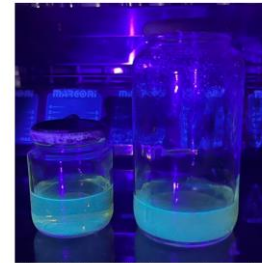


Figura 12. Resultado da segunda etapa de análise microbiológica após o processo de fitorremediação com a luz UV.

De acordo com os resultados da primeira etapa, baseados nos parâmetros analisados: o nitrito reduziu-se de 1,0 ppm para 0,0 ppm; a amônia, de 0,002 ppm para 0,001 ppm; a turbidez, de 4,28 NTU para 1,90 NTU; e as substâncias coloridas, de 65,16 mg/L para 48,18 mg/L. Na segunda etapa, os valores iniciais retornaram altos em alguns parâmetros devido à substituição integral do sistema, mas a redução foi novamente observada. A redução final para 1,0 NTU de turbidez, 0,0 ppm de nitrito e 21,71 mg/L de substâncias coloridas, evidencia a recuperação do ambiente após a estabilização da planta.

Assim, nota-se que a macrófita promove melhorias significativas na qualidade da água ao reduzir compostos nitrogenados, turbidez e substâncias coloridas. Entretanto, sua ação foi incompleta na remoção de coliformes, indicando a necessidade de tratamentos adicionais para tornar a água adequada para o consumo humano. As variações observadas reforçam a dinâmica natural de sistemas biológicos e destacam a importância do controle rigoroso das condições experimentais, incluindo manejo adequado da biomassa, prevenção da decomposição de matéria vegetal e padronização das práticas de amostragem.

Os resultados obtidos nas duas etapas experimentais demonstram que a macrófita desempenhou um papel ativo na melhoria físico-química da água do Rio Cubatão, seguindo um comportamento compatível com sistemas de fitorremediação da literatura. A remoção completa do nitrito indica alta capacidade de assimilação de compostos nitrogenados, uma vez que a planta utiliza essas moléculas como fonte essencial de nutrientes para seu metabolismo. O estudo de Henry-Silva e Camargo (2006) destaca que as macrófitas flutuantes com sistema radicular denso conseguem absorver nitrogênio e fósforo de maneira eficiente, alinhando-se ao padrão observado.

A redução progressiva da turbidez reforça a eficiência da *Pistia stratiotes* no processo de fitorremediação. A diminuição dos valores, mesmo com oscilações pontuais, indica que o sistema radicular volumoso da planta favorece a retenção e a sedimentação de partículas em suspensão. A elevação não descaracteriza o padrão de queda, pois aumentos temporários podem estar associados à remobilização de sedimentos, à movimentação física do aquário ou ao desprendimento de fragmentos da própria biomassa vegetal. Tais episódios são comuns em sistemas *ex situ* com macrófitas, por causa da decomposição de folhas, distúrbios no manejo ou acúmulo de matéria orgânica, que podem gerar oscilações momentâneas.

O comportamento da amônia teve maior variabilidade, com redução inicial seguida de reaparecimento em dias posteriores. O fenômeno explica-se pela dinâmica biogeoquímica do sistema. A amônia pode ser absorvida pela planta, mas também é produzida pela decomposição da biomassa vegetal, pela atividade microbiana e por processos de mineralização de compostos orgânicos. Portanto, o retorno do composto não é falha da macrófita.

Quanto às substâncias coloridas, a redução pelo fotocolorímetro confirma a capacidade da planta de atuar sobre compostos dissolvidos. O efeito ocorre por absorção de nutrientes, adsorção de moléculas orgânicas e intensificação da sedimentação de partículas finas, conforme descrito por Lu et al. (2010). A diminuição desses compostos sugere que a biomassa da *Pistia* interage ativamente com a água, favorecendo um processo combinado físico-químico.

No que se refere aos coliformes totais e *Escherichia coli*, os resultados mostraram que suas concentrações permaneceram inalteradas, resultado esperado para sistemas baseados apenas em fitorremediação. Apesar da macrófita contribuir indiretamente na redução dessas bactérias em alguns contextos, ela não remove coliformes por absorção direta, pois não possui mecanismos antimicrobianos específicos. Em condições amplas, a redução dos coliformes pode ocorrer por vias indiretas: a planta compete pelos nutrientes essenciais na água, como nitrogênio, fósforo e carbono dissolvido, diminuindo a disponibilidade dos mesmos para as bactérias, que dependem deles para sobrevivência e multiplicação. Além disso, as raízes promovem a formação de biofilmes que competem com coliformes e ajudam na depuração natural da água. Portanto, os valores permaneceram estáveis, pois a concentração inicial desses nutrientes bastava para sustentar os microrganismos. A exposição foi limitada e não houveram condições ambientais extremas que favorecessem a queda microbiana. Assim, a estabilidade dos resultados microbiológicos está associada à resistência natural dos coliformes e à ausência de processos específicos de desinfecção.

A reprodutibilidade entre as etapas aponta que o comportamento da *Pistia* foi consistente, apesar de variações iniciais na água e nas plantas utilizadas. Tendências de redução de nitrito, turbidez e substâncias coloridas ocorreram nas duas fases, não sendo resultados isolados, mas respostas fisiológicas estáveis da espécie em ambientes *ex-situ*. Reforça que o desempenho da *Pistia* não depende apenas das características da água inicial, mas de seu próprio metabolismo.

As variações, como oscilações de amônia, picos de turbidez, mudanças em dureza e outras propriedades, mostram a complexidade de sistemas naturais e a influência de fatores externos. Tais comportamentos são frequentes em estudos com macrófitas e revelam que a fitorremediação não depende apenas da planta, mas também da estabilidade do ambiente experimental, do controle das condições físicas do sistema e da realização de procedimentos, como remoção de material vegetal em decomposição, padronização da coleta e manutenção da circulação da água.

3 CONCLUSÃO

Por fim, é oportuno ratificar que a revisão bibliográfica aprofundou a compreensão acerca da utilidade e viabilidade da espécie na remoção de compostos químicos, poluentes orgânicos ou metais pesados. O estudo foi conduzido por meio de pesquisas qualitativas, quantitativas, de campo, experimentais e bibliográficas.

A partir das análises, coletadas e relacionadas entre si ao longo do ano, observou-se que a espécie apresentou capacidade considerável na absorção de poluentes, contribuindo para a melhoria da qualidade da água. As hipóteses formuladas no início deste estudo foram confirmadas. A macrófita apresentou-se como uma alternativa de baixo custo, cuja viabilidade e eficiência são notáveis.

Os resultados afirmam a importância do uso das macrófitas como alternativa sustentável para a recuperação de ambientes aquosos afetados pela atividade industrial. Todavia, o trabalho carece da totalidade das variações do local, pois utiliza-se do método *ex-situ*. Por isso, é importante para o campo acadêmico que futuros trabalhos sejam realizados de modo a comparar as espécies de macrófitas e as particularidades de cada espaço natural. Conclui-se que a *Pistia stratiotes* é uma alternativa econômica e ecologicamente viável para a mitigação da poluição hídrica, participando ativamente na preservação de recursos naturais e das suas espécies, conservando o mundo atual para as futuras gerações.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, A. C. F.; CAMPELO, M. J. de A. Potencial de macrófitas aquáticas no desenvolvimento de plantas e sua contribuição na restauração de áreas degradadas, Petrolina/Pernambuco. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 10, n. 1, p. 837–849, 2024. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/66250>. Acesso em: 17 jun. 2025.

AMORIM, A. T.; ROCHA, A. A. Poluição dos recursos hídricos e políticas para proteção dos recursos hídricos. **Geopauta**, Dourados, v. 8, n. 8, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/geop/a/5hMLDbgKq9Vpjwx9sQbBJ7H/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 13 nov. 2025.

ANDRADE, V. de J. Práticas agrícolas e degradação hídrica em Adustina - BA: propostas de educação ambiental no ensino fundamental II. 2023. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências Ambientais) - **Universidade Federal de Sergipe**, São Cristóvão, 2023. Disponível em: <https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/19249>. Acesso em: 1 dez. 2025.

CANCIAN, L. F.; CAMARGO, A. F. M.; SILVA, G. H. G. Crescimento de *Pistia stratiotes* em diferentes condições de temperatura e fotoperíodo. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 123–134, jun. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abb/a/gCn5MN6wPHW99vKjsVFMJBf/?lang=pt>. Acesso em: 17 nov. 2025.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/?id=450>. Acesso em: 12 ago. 2025.

FERNANDES, J. Bases metodológicas para a inserção do conceito nexus água – energia – agricultura em modelos intersetoriais de planejamento e gestão. 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/32517>. Acesso em: 1 dez. 2025.

FRANÇA, A. Diagnóstico dos impactos socioambientais do riacho do Inhamum em um trecho urbano de Caxias / Maranhão: a piscina do Ponte. 2024. Disponível em: <https://repositorio.uema.br/jspui/handle/123456789/3263>. Acesso em: 1 dez. 2025.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Efficiency of aquatic macrophytes to treat sewage: an experimental system. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 27, n. 2, p. 133–142, jun. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2005.11.006>. Acesso em: 28 set. 2025.

INSTITUTO ÁGUA E SANEAMENTO. O saneamento em Cubatão (SP). [S. l.], [202-?]. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/sp/cubatao>. Acesso em: 22 ago. 2025.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA. Departamento de Engenharia. Limnologia/Parâmetros/Físicos/Turbidez. In: **UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO. Limnologia/Parâmetros/Físicos/Turbidez.** Rio de Janeiro:

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, [202-?]. Disponível em: <https://www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes/turb.htm>. Acesso em: 13 nov. 2025.

LORENCINI BRASIL. Análise Físico-Química. [S. l.], [202-?]. Disponível em: <https://www.lorencini.com.br/servicos/laboratorio/analise-oleo-mineral/>. Acesso em: 13 nov. 2025.

MISHRA, V. K.; TRIPATHI, B. D. Accumulation of heavy metals and phytoremediation potential of *Pistia stratiotes* L. and *Eichhornia crassipes*. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 136, n. 1–3, p. 131–138, jan. 2008. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-007-0010-y>. Acesso em: 09 mai. 2025.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. Colombo: **Embrapa Florestas**, 2011. 67 p. (Documentos, 232). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/921050>. Acesso em: 18 out. 2025.

RIOS RIVERA, E. S. Uso de *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* para la biorremediación de efluentes piscícolas. 2023. 155 f. Tesis (Licenciatura em Ingeniería Agrícola) – **Universidad de Panamá**, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Ingeniería Agrícola, David, Chiriquí, República de Panamá, 2023. Disponível em: https://up-rid.up.ac.pa/7745/1/emily_rios.pdf. Acesso em: 20 out. 2025.

RODRIGUES, M. do S. A. et al. Análise crítica sobre a legislação para análise microbiológica de alimentos: uma revisão de literatura do período de 2014 a 2024. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 9, p. e6792, 19 set. 2024. Acesso em: 19 out. 2025.

SANTOS. Produção de biomassa a partir da casca de banana pacovan (*Musa ssp.*) para tratamento de água de poço tubular. **Ufam.edu.br**, 26 jun. 2023. Disponível em: <http://riu.ufam.edu.br/handle/prefix/7047>. Acesso em: 8 jun. 2025.

SCHLEGER, P. T.; ANDRADE, P. A. W. de. Poluentes emergentes: uma visão sistêmica. **Revista Latinoamericana Ambiente & Saúde**, Lages, v. 5, n. 1 (especial), 2023. Disponível em: <https://rlas.uniplaclages.edu.br/index.php/rlas/article/view/13>. Acesso em: 13 nov. 2025.

SERRA DE LIMA MORAES, A. E.; BERENICE, D.; JORDÃO, Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 36, n. 3, p. 370–374, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.org/pdf/rsp/2002.v36n3/370-374/pt>. Acesso em: 1 dez. 2025.

SOOKNAH, R. D.; WILKIE, A. C. Nutrient removal by floating aquatic macrophytes cultured in anaerobically digested flushed dairy manure wastewater. **Ecological Engineering**, v. 22, n. 1, p. 27–42, fev. 2004. Disponível em: [https://biogas.ifas.ufl.edu/Pubs/EcolEng-22\(1\)-2004.pdf](https://biogas.ifas.ufl.edu/Pubs/EcolEng-22(1)-2004.pdf). Acesso em: 30 mai. 2025.

TRATAMENTO DE ÁGUA. Análises Microbiológicas em Água. **Tratamento de Água**, [S. l.], 7 out. 2022. Atualizado em 2024. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/analises-microbiologicas-em-agua/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 7–23, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/SfqYWrhrtvkxybFsjYQtx7v/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 21 mar. 2025.

VASCONCELLOS, M. C.; PAGLIUSO, D.; SOTOMAIOR, V. S. Fitorremediação: Uma proposta de descontaminação do solo. **Estudos de Biologia**, Curitiba, v. 34, n. 83, 2012. Disponível em: <https://periodicos.pucpr.br/estudosdebiologia/article/view/22927>. Acesso em: 6 jun. 2025.

VERDE, R. P. A história da poluição em Cubatão e como a cidade deixou de ser o “Vale da Morte”. **Pensamento Verde**. Disponível em: <https://share.google/mqPElVjC2vuMGFl8x>. Acesso em: 2 dez. 2025.