

Wetlands construídos de fluxo subsuperficial vertical, Manaus-AM

 <https://doi.org/10.56238/sevened2024.003-079>

Daniellen Cristina dos Reis Barbosa Carbajal

Pós-graduação em Meio Ambiente e suas Tecnologias
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Amazonas: Campus Manaus Distrito Industrial
E-mail: daniellencristina@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-2024-2167>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1837206128764296>

Mauro Celio da Silveira Pio

Pós-graduação em Meio Ambiente e suas Tecnologias
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Amazonas: Campus Manaus Distrito Industrial
E-mail: mauro.pio@ifam.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5854-7741>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3457499082138070>

Ana Lucia Soares Machado

Pós-graduação em Meio Ambiente e suas Tecnologias
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Amazonas: Campus Manaus Distrito Industrial
E-mail: ana.machado@ifam.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5977-2377>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8651168588446017>

José Cavalcante Lacerda Junior

Pós-graduação em Meio Ambiente e suas Tecnologias
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Amazonas: Campus Manaus Distrito Industrial
E-mail: jose.cavalcante@ifam.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9697-8377>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4731128445071858>

Nivaldo Rodrigues da Silva

Pós-graduação em Meio Ambiente e suas Tecnologias
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Amazonas: Campus Manaus Distrito Industrial
E-mail: nivaldo@ifam.edu.br
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9653122662843005>
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6105-9423>

RESUMO

Wetlands Construídos são sistemas estrategicamente desenvolvidos, empregando plantas e materiais de custo acessível, com o propósito de mitigar parâmetros de águas contaminadas. Este estudo concentrou-se na avaliação da redução de parâmetros físico-químicos, tais como pH, condutividade elétrica, turbidez, sólidos suspensos totais e fósforo, na qualidade das águas contaminadas do Igarapé da Vovó, situado na região do Distrito Industrial de Manaus/AM. Os resultados revelaram que, no que diz respeito ao pH, não foram observadas alterações significativas ao longo do período amostral, apesar de indicativos que sugerem influência antrópica na área estudada. Por outro lado, a condutividade elétrica, os sólidos suspensos totais e o fosfato apresentaram reduções percentuais notáveis de um carregamento para o outro. Especificamente, as reduções foram de 25% para 58% na condutividade elétrica, de 70% para 92% nos sólidos suspensos totais, e de 15% para 60% no fosfato. Esses resultados destacam a eficácia do sistema de Wetlands Construídos na melhoria dos parâmetros de qualidade da água do Igarapé da Vovó.

Palavras-chave: Wetlands Construídos, Parâmetros Físico-químicos, Qualidade da Água, Igarapé da Vovó.

1 INTRODUÇÃO

A água desempenha um papel crucial para a sustentação da vida, destacando-se como peça central no alcance do Objetivo 6 da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (Cai; Zhao; Varis, 2021; Ho *et al.*, 2020; Taminato; Fernandes; Barbosa, 2023). Contudo, a mera disponibilidade quantitativa não é suficiente. É imperativo que a água atenda a requisitos de qualidade e esteja apta para reutilização, conforme delineado pela ONU em 2015 (Alcamo, 2019; Gain; Giupponi; Wada, 2016; Hall *et al.*, 2020; Stanujik *et al.*, 2020). A utilização da água, se não submetida apropriadamente a tratamentos, pode resultar em sua inadequação para retorno aos recursos hídricos, requerendo intervenções para viabilizar seu posterior reintegrar aos mananciais superficiais ou subterrâneos (Brasil, 2011).

Ao longo dos anos, observou-se um aprimoramento global, incluindo o Brasil, no tratamento de águas residuárias. O tratamento inadequado de esgoto em diversas residências, tanto rurais quanto urbanas, tem contribuído para o despejo indiscriminado de águas residuais nos corpos hídricos, gerando impactos ambientais e ameaçando a qualidade da água para consumo humano (Neves *et al.*, 2017; Brandão; Farias; Mustafa, 2023).

A percepção da necessidade de estudos voltados para a descontaminação da água residual levou à consideração de alternativas, entre as quais se destaca o uso de plantas, conforme Ribas e Silva (2022). De acordo com Oliveira (2022) e Mota, Sargentini Júnior e Santana (2016), a *Alocasia macrorhiza*, embora não seja nativa de todas as regiões, mostra-se como uma planta hiperacumuladora de metais, destacando-se por sua adaptação eficaz em zonas úmidas, como as encontradas na região do igarapé da Vovó, onde um sistema de wetland foi implementado.

A fauna e flora local estão sujeitas às águas contaminadas, como as do igarapé da Vovó, onde substâncias provenientes das atividades antrópicas são identificadas. A concentração, movimentação e transformação desses poluentes na água do Igarapé da Vovó dependem das propriedades do ambiente, assim como das características dos contaminantes presentes na fauna e flora aquáticas, frequentemente expostas a substâncias consideradas tóxicas (Marques, Nunes-Gutjahr; Braga, 2020).

Esta pesquisa empregou dados quantitativos, incluindo parâmetros como condutividade elétrica (CE), temperatura (T) e sólidos suspensos totais (SST), no contexto do uso de plantas para descontaminação de água poluída. O objetivo central deste trabalho foi avaliar a capacidade de absorção das macrófitas, incluindo a *Alocasia macrorhiza* presente em matas ciliares na região de Manaus e na mata circundante ao igarapé da Vovó. Dentre os objetivos específicos, buscou-se identificar a presença e as espécies de macrófitas aquáticas no Igarapé da Vovó, além de avaliar o potencial dessas plantas como bioindicadoras da qualidade da água nesse ambiente específico.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A ÁGUA REPRESENTA UM RECURSO VITAL ESSENCIAL PARA A SUSTENTAÇÃO DA VIDA

Contudo, diante do crescimento populacional acelerado, a parcela limitada de água adequada e disponível para o consumo humano torna-se cada vez mais escassa, apesar dos esforços e medidas adotadas para mitigar o desperdício e promover o uso consciente. Destaca-se que a água subterrânea, por ser economicamente mais viável e crucial para o abastecimento da população (Yan; Chen; Zhang, 2021; Freitas; Brilhante; Almeida, 2001), assume um papel fundamental nesse cenário.

Ao analisar as águas subterrâneas, torna-se evidente que o monitoramento e gerenciamento desse recurso são singulares, estabelecendo uma conexão vital entre as águas superficiais e subterrâneas. A interação entre essas fontes hídricas significa que a contaminação de águas residuais pode contribuir significativamente para a poluição e degradação das fontes de água potável. Essa deterioração, a curto, médio e longo prazo, pode resultar em efeitos adversos para a saúde humana. Portanto, a contaminação das águas subterrâneas emerge como um desafio global considerável e uma preocupação premente (Mukhopadhyay; Duttagupta; Mukherjee, 2022).

A implementação de wetlands para o tratamento de águas de rios representa uma estratégia ambientalmente sustentável e eficaz. Wetlands, caracterizados como ecossistemas úmidos, desempenham um papel vital na purificação da água, remoção de poluentes e auxílio na eliminação de substâncias prejudiciais, promovendo assim a biodiversidade. Esta abordagem, integral e alinhada aos princípios da natureza, integra esses sistemas naturais ao gerenciamento da água, resultando em benefícios ambientais significativos. Isso contribui diretamente para a preservação da saúde dos ecossistemas aquáticos e para a melhoria da qualidade de vida das comunidades locais (Monteiro; Machado, 2023).

2.2 TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS: UM ENFOQUE ABRANGENTE

As águas residuais apresentam uma diversidade de poluentes que demandam remoção eficaz para mitigar seu impacto ambiental. Entre os principais poluentes encontrados em rios, lagos e igarapés, destacam-se os compostos orgânicos, metais pesados, e organismos considerados bioacumuladores, responsáveis por casos graves de intoxicação, persistentes e emergentes. Nesse contexto, é crucial um tratamento adequado e contínuo, visando possibilitar a reutilização segura dessas águas pela população e ainda mais, pela fauna e flora local (Ribas; Silva, 2022).

O estudo realizado por Cruz (1997) delineia os procedimentos essenciais para o tratamento de água. Apesar do crescente interesse nos últimos anos pelos tratamentos químicos de águas residuais, seu uso é limitado a operações físicas e processos biológicos. Na caracterização física da água, destaca-se a determinação da temperatura como indicador da facilidade de sedimentação, a avaliação da

turvação para constatar a presença de partículas coloidais não sedimentáveis e sólidos suspensos, e a medição dos sólidos totais como critério simples para avaliar a carga poluente. Quanto à caracterização química, são relevantes a determinação do pH para verificar o caráter ácido, neutro ou alcalino, a avaliação da condutividade como medida da capacidade de condução elétrica e a determinação do oxigênio dissolvido, frequentemente realizado pelo Método de Winkler. Na caracterização biológica, a determinação dos coliformes totais e fecais destaca-se como indicador da quantidade de matéria orgânica.

2.3 O APROVEITAMENTO DA ÁGUA RESIDUAL TRATADA EM COMUNIDADES ISOLADAS PELO MUNDO

As wetlands, quando devidamente instaladas e consolidadas, são concebidas para facilitar a purificação de águas residuais por meio da integração de processos físicos, químicos e biológicos. Esses processos englobam etapas como sedimentação, precipitação e adsorção de partículas pelos materiais filtrantes. As wetlands foram minuciosamente estudadas com o intuito de aprimorar a capacidade de decomposição e transformação da matéria orgânica, incluindo carbono, nitrogênio e fósforo. Esse fenômeno reflete o ciclo natural observado nos igarapés da região amazônica (Bastos *et al.*, 2023).

Um projeto de wetland construído tem como meta reproduzir a natureza, desempenhando funções análogas e, adicionalmente, oferecendo tratamento de esgotos. O funcionamento de uma wetland fundamenta-se na ação combinada da gravidade, permeabilidade e degradação biológica. Ela atua como um tratamento secundário, onde a remoção de matéria orgânica ocorre por meio de reações bioquímicas, além de desempenhar um papel como tratamento terciário de esgotos, controlando e removendo nutrientes de maneira eficiente (Poças, 2015).

O tratamento secundário é possibilitado pela natureza do sistema como um filtro granulométrico. Enquanto isso, o tratamento terciário se destaca principalmente pela presença das macrófitas. A importância das plantas para o sistema está primordialmente associada à zona de raízes, onde ocorre a concentração de bactérias consumidoras de matéria orgânica, desempenhando processos bioquímicos essenciais para a remoção eficiente de nutrientes (Poças, 2015).

Os resultados obtidos pelo estudo de Brandão, Farias e Mustafa (2023), revelam que esses poços exibem níveis de contaminação, constituindo um potencial risco à saúde para quem consome sua água. Entre as 210 amostras coletadas, 33% (70 poços) foram consideradas impróprias devido à presença exclusiva de bactérias do tipo coliformes totais, as quais são naturalmente encontradas no solo e podem provir também de fezes de animais domésticos que circulam na superfície. Entretanto, 40% das amostras (84 poços), além de apresentarem essas bactérias, revelaram a presença de coliformes fecais, indicando contaminação por fezes de origem humana. É possível que essa

contaminação tenha origem em fontes como infiltração da rede de esgoto, evidenciando a gravidade da situação.

2.4 FILTRO PLANTADO OU WETHANDS - DEFINIÇÃO E TIPOS

Os wetlands construídos (WCs) são sistemas projetados para otimizar os processos naturais de transformação da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, assemelhando-se aos que ocorrem em ambientes alagados, como pântanos naturais e mangues. Eles demonstram uma notável eficiência no tratamento de efluentes provenientes de diversas fontes, abrangendo resíduos industriais, agrícolas, domésticos ou pluviais. Adicionalmente, esses sistemas podem ser empregados para o controle de enchentes, retenção de sedimentos e restauração de rios contaminados (Sezerino *et al.*, 2018).

Conforme destacado por Philippi e Sezerino (2004), a operação de um wetland no tratamento de efluentes se realiza por meio da purificação da matéria orgânica, da transformação da série nitrogenada e da retenção do fósforo. Nesse cenário, uma sucessão de processos é desencadeada no interior dos WCs, abrangendo procedimentos físicos, como filtração e sedimentação; procedimentos químicos, mediante a adsorção na superfície do material filtrante; e procedimentos biológicos, que envolvem a degradação microbiológica aeróbia e anaeróbia, a predação e a remoção de nutrientes pelas macrófitas.

2.5 COMO É FEITA A MONTAGEM DE UMA WETLAND

A montagem de um filtro plantado, também conhecido como wetland construído (WC), representa a criação de um sistema eficiente para a purificação de águas residuais, integrando processos físicos, químicos e biológicos. Esses sistemas são concebidos para emular os processos naturais de autodepuração identificados em ecossistemas alagados, como pântanos e manguezais. A base teórica subjacente a essa abordagem pode ser aprofundada por meio da análise de estudos científicos que evidenciam a eficácia dos WCs em termos de remoção de poluentes e restauração da qualidade da água, conforme visto nos estudos de Philippi e Sezerino (2004) e de Sezerino *et al.* (2018).

Os ecossistemas alagados naturais destacam-se por sua habilidade intrínseca de eliminar contaminantes da água, através de mecanismos como sedimentação, filtração, adsorção e atividade biológica. A presença de plantas e microrganismos nesses ecossistemas fomenta a ciclagem de nutrientes, abrangendo carbono, nitrogênio e fósforo, elementos cruciais para o desenvolvimento vegetal e processos biológicos (Philippi; Sezerino, 2004)

Os princípios de funcionamento dos Wetlands Construídos (WCs) são baseados em dois fatores principais: gravidade e permeabilidade. A condução natural da água através do sistema, impulsionada pela força gravitacional, facilita processos como filtração e sedimentação. A seleção de materiais do filtro baseia-se em sua permeabilidade, permitindo o controle na passagem da água e favorecendo

processos de filtração altamente eficientes (Sezerino *et al.*, 2018)

Os filtros plantados são compostos por camadas e componentes que desempenham papéis específicos no processo de purificação da água. A camada de substrato, comumente composta por cascalho, areia e materiais permeáveis, oferece suporte às plantas e facilita a filtração. As plantas aquáticas, ou macrófitas, desempenham um papel crucial na remoção de nutrientes e na estabilização do substrato, utilizando suas raízes como zona propícia para a atividade bacteriana. O material filtrante, como cascalho ou brita, promove a filtração física, enquanto substâncias químicas na superfície auxiliam na adsorção de poluentes (Iaqueli, 2016).

Os processos biológicos e microbianos são essenciais para a eficácia do filtro plantado. Bactérias aeróbias e anaeróbias na zona radicular das plantas contribuem para a degradação de matéria orgânica, transformação de compostos nitrogenados e remoção de patógenos. Organismos presentes no filtro atuam na predação de microrganismos, desempenhando um papel vital na regulação da biodiversidade (Iaqueli, 2016).

A manutenção e monitoramento do filtro plantado são cruciais para garantir sua eficiência contínua. Parâmetros como concentração de nutrientes, presença de coliformes e turbidez são monitorados para avaliar a eficácia do sistema. Práticas como poda e controle do crescimento das plantas são cruciais para garantir a eficiência contínua do filtro (Bastos *et al.*, 2023).

2.6 PLANTAS USADAS NOS FILTROS PLANTADOS

Os Wetlands Construídos são sistemas naturais ou recriados que utilizam plantas específicas para promover a purificação da água. Essas plantas são escolhidas por sua capacidade de absorver nutrientes, filtrar sedimentos e promover a atividade microbiológica benéfica. As plantas mais comuns utilizadas em Wetlands Construídos incluem *Typha* spp. (Taboa), *Phragmites australis* (Carrizo), *Schoenoplectus* spp. (Junco), *Juncus effusus* (Junco-rasteiro), *Iris* spp. (Íris), *Pontederia cordata* (Capim-santo) e *Carex* spp. (Juncáceas). A escolha da planta varia de acordo com as características específicas do local e os objetivos de tratamento da água. Essas plantas desempenham um papel vital na remoção de poluentes e na promoção de um ambiente aquático saudável nos wetlands construídos (Sezerino *et al.*, 2015; Iaqueli, 2016).

A *Alocasia macrorrhizos*, conhecida como orelha-de-elefante-gigante, destaca-se como uma planta perene rizomatosa tropical, pertencente à família Araceae, nativa da Malásia e Ceilão. Suas folhas ornamentais, de dimensões impressionantes e textura carnuda, podem atingir até 1 metro de comprimento, exibindo uma superfície cerosa e veias proeminentes. Esta planta versátil é amplamente apreciada por sua beleza, proporcionando opções de uso que vão desde destaque singular em jardins até a formação de maciços e a ornamentação ao longo das margens de rios e lagos (Arbain *et al.*, 2022).

É crucial ressaltar que a *Alocasia macrorrhizos* possui uma toxicidade inerente devido à presença de cristais de oxalato de cálcio. O contato com a substância fresca pode resultar em uma sensação desagradável, assemelhando-se a agulhas perfurando a boca, língua e garganta, destacando a importância do manuseio com precaução (Arbain *et al.*, 2022).

Embora a pesquisa científica sobre a *Alocasia macrorrhizos* seja ainda limitada, alguns artigos oferecem uma visão mais detalhada. Um estudo recente publicado na *Frontiers in Pharmacology* analisou o uso tradicional, fitoquímica e atividades biológicas de diversas espécies de *Alocasia*, incluindo a *Alocasia macrorrhizos*. Este artigo proporciona uma avaliação crítica da distribuição geográfica, usos tradicionais e composição fitoquímica de 96 espécies de *Alocasia*. Além disso, destaca as diversas atividades biológicas dessas espécies, como propriedades antioxidantes, antidiabéticas, antimicrobianas e antifúngicas, entre outras. A conclusão do estudo enfatiza o promissor potencial das espécies de *Alocasia* para o desenvolvimento de novos medicamentos, sublinhando a importância contínua da pesquisa nesse campo emergente (Arbain *et al.*, 2022).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 AMBIENTE ESTUDADO

O local escolhido para a coleta das amostras de água foi o Igarapé da Vovó, conforme mostra a Figura 01. Curso d'água contribuinte da Bacia Hidrográfica do Educandos, Manaus-AM. O local está situado dentro da área do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM – Campus Manaus Distrito Industrial onde existe um lago perene desse igarapé (Machado; Candido; Ferreira, 2023).

Figura 01: Imagens do Local escolhido para análise da água



Fonte: Dados provenientes da prática de pesquisa (2023).

3.2 MONTAGEM DA WETLAND SUBSUPERFICIAL DE FLUXO VERTICAL

A Figura 02 demonstra os materiais usados: 01 (uma) caixa d'água de 210,00 L preenchida por canos de 20,00 mm de pvc soldável no fundo da caixa contendo furos em sua porção superior, os canos

foram unidos de modo a formar uma figura em formato quadrado, os furos distava aproximadamente 4,00 cm. Sob os canos foram adicionados uma camada de seixo de granulometria de 2,00 mm em altura aproximada de 35,00 cm e sob essa camada outra de areia branca de aproximadamente 45,00 cm onde foram plantadas 08 espécies de *Alocasia macrorrhiza* que possuíam tamanho médio de 60,00 cm por espécie.

Figura 02: Imagens da montagem no local escolhido para receber a água do igarapé.



Fonte: Dados provenientes da prática de pesquisa (2023).

O sistema montado pode ser observado na ilustração da Figura 03. Esse sistema passou por um período de 30 dias de adaptação onde as plantas eram regadas a cada 48h com água corrente. Após esse período foi realizado um aporte de aproximadamente 40,00 litros de água do igarapé da Vovó. Cerca de 1,00 L de água da wetland foi coletado em recipientes de polietileno previamente lavadas e esterilizadas em intervalos de 48h em dois períodos distintos de 2023, o primeiro a partir do dia 19/09 a 25/09 o segundo de 07/11 a 14/11 para as análises laboratoriais.

Figura 03: Ilustração da montagem



Fonte: Dados provenientes da prática de pesquisa (2023).

3.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS:

Foram feitas análises dos parâmetros físico-químicos, pH, condutividade elétrica, temperatura, turbidez, sólidos suspensos totais e fósforo na forma de fosfato. As atividades laboratoriais foram

conduzidas nas instalações da IFAM-CMDI¹ e os aparelhos utilizados podem ser visualizado na Figura 04.

O pH, condutividade, temperatura foram analisadas por potenciômetro usando aparelho "Medidor multiparâmetro de bancada 86505az – ph/orp/cond./tds/salinidade". O turbidímetro pelo aparelho "turbidímetro plus ii: microprocessado – pro-tools". Os sólidos suspensos foram analisados pelo uso de filtração a vácuo com membrana filtrante milipore de 45microns de diâmetro e o fósforo na forma de fosfato pelo método do molibdato com leitura em espectrofotômetro U.V. na faixa de 885 nm.

Figura 04: Imagens dos equipamentos utilizados na análise da água



Fonte: Dados provenientes da prática de pesquisa (2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

A seguir, estão apresentados na Tabela 01, os resultados das análises físico-químicas e fósforo/fosfato realizadas durante o período de monitoramento nas duas coletas realizadas no sistema Wetlands Construídos (WCs).

Tabela 01: Resultados das análises físico-química e fósforo/fosfato

Data das Coletas	pH	S ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	SST (mg L^{-1})	Turbidez (NTU)	P- PO_4^{3-} (mg L^{-1})
19/09	5,80	280,00	25,00	10,00	4,23	0,45
21/09	7,13	161,30	25,00	14,00	0,10	0,42
25/09	7,21	189,40	25,00	10,00	0,29	0,42
27/09	7,18	195,70	25,00	4,00	0,15	0,40
29/09	7,39	211,00	25,00	3,00	0,17	0,38
07/11	6,34	430,70	25,00	90,00	17,5	0,48
08/11	7,55	216,00	25,00	38,00	1,47	0,32
10/11	7,42	211,00	25,00	11,00	0,27	0,21
12/11	7,30	187,50	25,00	7,00	0,22	0,21

¹ Instituto Federal do Amazonas – IFAM; Campus Manaus Distrito Industrial – CMDI.

O pH da água não apresentou variações significativas ao longo do monitoramento no sistema wetland construído. Durante o primeiro período de coleta, os valores oscilaram entre 5,80 e 7,55 na wetland, enquanto no segundo período mantiveram-se mais estáveis, situando-se entre 6,34 e 7,55. Os resultados sugerem que o sistema wetlands construídos não tiveram influência para alterar esse parâmetro. De acordo com Rodrigues, Silva e Silva (2009), valores de pH superiores a 6,0 no Igarapé do 40, que também contribui para a Bacia do Educandos, indicam alterações de origem antrópica.

No contexto específico do Igarapé da Vovó, a influência antrópica no pH pode estar associada ao escoamento das águas pluviais das vias públicas imediatamente adjacentes a esse local. Este igarapé, situado em nível inferior em relação à via pública, revela evidências das trajetórias da água proveniente dessas vias, desaguando no lago perene formado pelo Igarapé da Vovó. Portanto, a variação no pH pode estar diretamente relacionada a esse fenômeno, destacando a influência do sistema montado na dinâmica do pH no local.

Logo, a tabela 01, mostra no parâmetro pH, uma variação de acordo com a Resolução 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (Brasil, 2005), a faixa levemente alcalina é resultado conforme a resolução para águas doces classe II, onde informa variação de pH entre 6,00 e 9,00. Contudo, as águas naturais da região de Manaus, devido às suas características, possuem águas pretas com valores de pH de 3,00 a 5,00, com isso, o resultado encontrado está fora da especificação, sendo resultado do processo de filtração na Wetland (Santana; Barroncas, 2007; Souza-Filho; Hortêncio-Batista; Albuquerque, 2019).

A condutividade elétrica é uma propriedade importante da água e é usada para determinar a qualidade da água, bem como para avaliar a presença de contaminantes. Logo, os valores desse parâmetro de forma análoga ao pH a condutividade elétrica tem suas variações pela introdução de íons da atividade antrópica relatada. Comparando os dados obtidos com as águas naturais da região, fica evidente o impacto dos efluentes nas características das águas estudadas (Santana; Barroncas, 2007).

Ainda observando os dois momentos de carregamento na wetland construída nota-se que para o primeiro o sistema apresenta uma redução da condutividade de 25% e no segundo momento a redução foi de 58%. Novamente o fator precipitação pode ter influenciado no segundo momento de carregamento de água para o sistema.

Ao relatar os aspectos do Igarapé do Mindu em seu texto, Souza-Filho, Hortêncio-Batista e Albuquerque (2019) proporcionam uma base referencial para compreender as características similares presentes nos igarapés da região. Nesse contexto, os valores elevados identificados podem ser atribuídos à considerável variação nos lançamentos de efluentes domésticos, resíduos sólidos e

efluentes industriais, despejados de maneira pontual nas águas. Esse processo resulta na sedimentação gradual e no carreamento de poluentes ao longo da corrente.

A propensão ao assoreamento, por sua vez, sofre uma marcante influência sazonal, evidenciando um aumento na concentração desses sólidos durante o período de vazante. Os registros mais altos para esse parâmetro foram constatados no segundo momento da coleta. Vale destacar que o período que antecedeu a coleta foi impactado por uma precipitação intensa no dia anterior, cuja alta condutividade pode estar associada ao assoreamento das áreas circundantes e da vegetação ciliar.

A temperatura da água, registrada em graus Celsius, manteve-se constante em 25,0°C em várias datas de coleta. Essa estabilidade térmica pode influenciar processos biológicos e químicos na água, afetando a ecologia do ecossistema aquático. A temperatura é um fator ambiental importante que afeta a vida aquática, pois influencia a solubilidade de gases, a taxa metabólica dos organismos e a disponibilidade de nutrientes. A estabilidade térmica da água é importante para manter a saúde do ecossistema aquático, pois muitos organismos aquáticos são sensíveis a mudanças bruscas de temperatura. Além disso, a temperatura da água pode afetar a solubilidade de nutrientes e a disponibilidade de oxigênio dissolvido, afetando a qualidade da água e a saúde dos organismos aquáticos (Ferreira; Cunha, 2013).

De acordo com Souza-Filho, Hortêncio-Batista e Albuquerque (2019), a região nascente do Igarapé da Vovó apresenta elevado índice de urbanização em seu entorno, além de uma significativa carga de matéria orgânica proveniente do esgoto. Simultaneamente, a decomposição de diversas espécies de plantas aquáticas circundantes, a intensa atividade microbiológica e as altas temperaturas sugerem serem fatores contribuintes para a reduzida concentração de oxigênio nas águas desta localidade.

Os Sólidos Suspensos Totais (SST) constituem uma medida que avalia a quantidade de material suspenso em um volume específico de água, passível de ser retido por um filtro. A presença de partículas em suspensão na água, refletida nos valores de SST, pode ser influenciada por diversos fatores. Essa presença de SST impacta diretamente na qualidade visual da água, podendo torná-la turva ou opaca. Dessa forma, a turbidez e a quantidade de SST estão intimamente correlacionadas, contribuindo para uma compreensão abrangente da condição visual da água (Mohedano, 2010).

Oliveira, Sousa e Brandão (2020) abordam sobre amostras de sólidos suspensos totais analisadas pelas wetlands. Expressos em miligramas por litro (mg/L), os valores de SST das amostras reduziram em 70% no primeiro carregamento e em 92% no segundo carregamento. Esses resultados sugerem que o perfil filtrante utilizado, composto por seixo e areia branca, teve uma influência positiva na obtenção da melhora. Destaca-se, nesse contexto, a melhoria visual na qualidade da água, notada principalmente nas últimas coletas.

Essas reduções significativas na concentração de SST evidenciam a notável capacidade de remoção de sólidos suspensos em ambos os carregamentos de água do igarapé na wetland. A expressiva retenção de sólidos no sistema ocorre principalmente por meio de um processo de coagem, que age como um eficaz meio filtrante. Eventualmente, a remoção de sólidos demonstra o excelente desempenho apresentado pelo sistema, confirmado pelos baixos valores registrados na turbidez.

Os índices de turbidez, expressos em Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU), apresentaram uma notável variação, situando-se entre 0,10 e 17,5 NTU. A concentração elevada de turbidez resulta da significativa presença de despejos industriais, domésticos e resíduos sólidos que se solubilizam nas águas, manifestando-se na forma de sólidos em suspensão. Esses elementos representam obstáculos à passagem da luz, levando à remoção da mata ciliar e intensificando os processos erosivos nas águas. Em especial, o aumento do assoreamento não apenas impacta a turbidez, mas também contribui para a redução da concentração de oxigênio dissolvido, constituindo um entrave para a realização da fotossíntese pelos organismos aquáticos, devido à diminuição da quantidade de luz disponível.

Ferreira e colaboradores (2021) exploram de maneira aprofundada o impacto da rápida urbanização na qualidade da água dos riachos na Amazônia brasileira, destacando as intensas pressões antrópicas sobre o meio ambiente, especialmente nos ecossistemas aquáticos. Além disso, Souza-Filho, Hortêncio-Batista e Albuquerque (2019) ressaltam que a expansão dos limites urbanos resulta não apenas em desmatamento, mas também em alterações substanciais na qualidade da água.

Nesse contexto, é importante destacar que a turbidez, como indicador da transparência da água, desempenha um papel crucial na influência da penetração de luz e, consequentemente, na produtividade do ecossistema aquático. Esse parâmetro pode ser significativamente impactado por diversos fatores, incluindo a presença de Sólidos Suspensos Totais (SST). Assim, o processo de filtração realizado pela wetland contribui de maneira significativa para a melhoria desses valores.

A concentração de fosfato (P-PO43-) na wetland apresentou variações discretas nas análises, com destaque para uma redução de 15% no primeiro período e 60% no segundo momento de carregamento. Vale ressaltar que, durante o primeiro carregamento do Igarapé da Vovó, a wetland não foi impactada pela precipitação. Já no segundo carregamento, o tanque que comporta a wetland transbordou devido à intensa chuva no dia anterior, marcando o início desse segundo carregamento. A presença da *Alocasia macrorrhiza* também contribuiu para a redução observada.

Ao realizar comparações descritivas com os parâmetros físico-químicos deste estudo, é notável que os efeitos sobre a toxicidade não estão limitados ao parâmetro isoladamente, mas resultam de um conjunto de interações que influenciam na biodisponibilidade dos contaminantes. A análise desses parâmetros ao longo do tempo possibilita identificar tendências sazonais e potenciais eventos impactantes, evidenciando a dinâmica natural do ecossistema do Igarapé da Vovó. O monitoramento

contínuo é fundamental para compreender as condições ambientais e promover a gestão sustentável dos recursos hídricos por meio assertivo das wetlands (Dickens; McCartney, 2020; Masi; Rizzo; Regelsberger, 2018; Weise *et al.* 2020; Vörösmarty *et al.*, 2018).

No estudo conduzido por Arantes (2022), que abordou o tratamento de efluentes, foi observada uma notável eficiência de 96%. Quando consideramos o igarapé da Vovó, a análise dos valores médios para os dois carregamentos revelou eficiências distintas: 15% no primeiro e 60% no segundo, demonstrando a capacidade da wetland em realizar a remoção total do P-PO43-. Esses resultados indicam a eficácia do sistema na eliminação da forma predominante de fósforo.

Segundo Nunes e Constanzi (2020), o fósforo presente nas águas residuais, seja na forma iônica ou complexada, geralmente encontra-se como fosfato, sendo sua remoção por meio da disposição de esgotos em "wetlands" controlada pelos processos bióticos e abióticos. A média de remoção de fosfato na forma de fósforo total, ao longo do monitoramento dos sistemas "wetlands", foi detalhada na Tabela 01. Observa-se que a remoção se manteve em torno de 15% no primeiro carregamento e 50% no segundo; entretanto, à medida que aumentou o tempo de detenção hidráulica, a eficiência nos sistemas vegetados também cresceu.

Por sua vez, Mendonça e colaboradores (2012) destacam a importância do fósforo como nutriente essencial e sua presença em diversas indústrias. Contudo, é considerado um dos principais elementos causadores da eutrofização, tornando crucial sua remoção nos efluentes. Embora os wetlands construídos sejam reconhecidos como tecnologia ambiental e economicamente viável, especialmente para esgotos sanitários, é essencial empregar mecanismos adicionais para assegurar a eficiente remoção de fosfatos nesses sistemas, representando um polimento final.

Mazucato (2020) relata sobre o sistema wetland de fluxo vertical, onde o mesmo demonstrou altas taxas de remoção de nutrientes, atendendo aos parâmetros de lançamento de efluentes em corpos hídricos. Em relação ao fósforo, o percentual de remoção observado está em consonância com a literatura, assim como o observado na wetland implantada no Igarapé da Vovó, onde a mesma apresentava uma indicação de uma alta adsorção inicial, mas com redução ao longo do tempo de operação da wetland. Estudos também constatarem máxima eficiência na remoção de fósforo no primeiro ano de operação (86%), decaindo nos anos subsequentes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo destacam a eficácia dos Wetlands Construídos (WCs) na melhoria dos parâmetros de qualidade da água do Igarapé da Vovó, localizado na região do Distrito Industrial de Manaus/AM. Ao concentrar-se na redução de parâmetros físico-químicos, como pH, condutividade elétrica, turbidez, sólidos suspensos totais e fósforo, o estudo fornece insights valiosos sobre o impacto positivo do sistema implementado.

No que diz respeito ao pH, apesar de não terem sido observadas alterações significativas ao longo do período amostral, indicativos sugerem uma influência antrópica na área estudada. A condutividade elétrica, os sólidos suspensos totais e o fosfato apresentaram reduções percentuais notáveis de um carregamento para o outro, evidenciando a capacidade do sistema em mitigar esses parâmetros. Notavelmente, as reduções foram de 25% a 58% na condutividade elétrica, de 70% a 92% nos sólidos suspensos totais e de 15% a 60% no fosfato.

A análise dos resultados indica que a montagem da Wetland Subsuperficial de fluxo vertical, utilizando a *Alocasia macrorrhiza*, foi capaz de promover uma significativa redução nos níveis de sólidos suspensos totais, condutividade elétrica e fosfato na água do Igarapé da Vovó. Esses achados são relevantes não apenas para a preservação do ambiente aquático local, mas também para o cumprimento de objetivos globais de desenvolvimento sustentável, como os estabelecidos pela Agenda 2030 da ONU, em especial objetivo 6.

Portanto, conclui-se que os Wetlands Construídos, especialmente quando empregam plantas como a *Alocasia macrorrhiza*, representam uma abordagem eficaz na descontaminação de águas poluídas. Esses sistemas não apenas melhoram a qualidade da água, mas também proporcionam benefícios ambientais adicionais, contribuindo para a sustentabilidade dos recursos hídricos e, por conseguinte, para o alcance dos objetivos globais de desenvolvimento sustentável relacionados à água.

REFERÊNCIAS

- ALCAMO, J. “Water quality and its interlinkages with the Sustainable Development Goals. Current Opinion in Environmental Sustainability, v. 36, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.11.005>
- ARANTES, R. B. S. et al. “Sorção de fósforo de efluente doméstico tratado em lodo de estação de tratamento de água e aplicação do resíduo em solo cultivado com milho.” Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 27, n. 1, 2022. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200129>
- ARBAIN, D. et al. “Traditional Uses, Phytochemistry and Biological Activities of Alocasia Species: A Systematic Review.” Front. Pharmacol., v. 13, 2022. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.849704>
- BASTOS, A.S. et al. “Uma revisão bibliográfica sobre Paricá (*Schizolobium amazonicum* | Huber ex Ducke) e sua relação com a fitorremediação de ambientes contaminados por metais pesados.” Julho 2023. Contribuciones a las Ciencias Sociales, v. 16, n. 7, 2023. <https://doi.org/10.55905/revconv.16n.7-178>
- BRANDÃO, L. S.; FARIAS, C. S.; MUSTAFA, T. O. “Espaço Geográfico E Os Riscos À Saúde: Uma Análise A Partir Da Qualidade Microbiológica Das Águas Dos Poços Urbanos No Município De Rio Branco – AC.” Uáquiri - Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Acre, v. 5, n. 1, 2023. <https://doi.org/10.29327/268458.5.1-8>
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes, e dá outras providências. Brasília: CONAMA, 2005.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos e controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Ministério da Saúde, 2011.
- CAI, J.; ZHAO, D.; VARIS, O. “Match words with deeds: curbing water risk with the sustainable development Goal 6 Index.” Journal of Cleaner Production, v. 318, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128509>
- CRUZ, L. “Principais técnicas de tratamentos de águas residuais.” Millenium, Revista do Instituto Politécnico de Viseu, v. 7, 1997.
- DICKENS, C.; McCARTNEY, M. “Water-Related ecosystems. In: LEAL FILHO, W. et al. (eds.).” Clean Water and Sanitation. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals. Springer: Cham, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70061-8_100-1
- FERREIRA, D. M.; CUNHA, C. “Simulação numérica do comportamento térmico do reservatório do Rio Verde.” Eng Sanit Ambient., v. 18, n. 1, 2013.
- FERREIRA, S. J. F. et al. “Impact of rapid urbanization on stream water quality in the Brazilian Amazon”. Environmental Earth Sciences, v. 80, 202. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-021-09621-7>
- FREITAS, M. B.; BRILHANTE, O. M.; ALMEIDA, L. M. “Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio.” Cadernos de Saúde Pública, v. 17, n. 3, 2001.

GAIN, A.K.; GIUPPONI, C.; WADA, Y. “Measuring global water security towards sustainable development goals.” *Environmental Research Letters*, v. 11, n. 12, 2016. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/11/12/124015>

HALL, N.L. et al. “Water and health interlinkages of the sustainable development goals in remote indigenous Australia.” *NPJ Clean Water*, v. 3, n. 10, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41545-020-0060-z>

HO, L. et al. “Water research in support of the Sustainable Development Goal 6: a case of study in Belgium.” *Journal of Cleaner Production*, v. 277, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124082>

IAQUELI, A. L. *Wetlands Construídos: Aplicações, Benefícios e Vantagens do Sistema*. São Paulo: Projeto de Pesquisa, Centro Universitário Mauá de Tecnologia, 2016.

MACHADO, A. L. S.; CANDIDO, L. A.; MONTEIRO, M. T. F. (Orgs.). *Tecnologia e Meio Ambiente: um passeio pela Nascente do Igarapé da Vovó na Bacia Hidrográfica do Educandos*. Rio de Janeiro – RJ: Autografia, 2023.

MARQUES, J. R. A.; NUNES-GUTJAHR, A. L.; BRAGA, C. E. S. “Situação sanitária e o uso da água do Igarapé Santa Cruz, município de Breves, Arquipélago de Marajó, Pará, Brasil.” *Eng. Sanit. Ambient.* v. 25, n. 4, 2020. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020193204>

MASI, F.; RIZZO, A.; REGELSBERGER, M. “The role of constructed wetlands in a new circular economy, resource oriented, and ecosystem services paradigm.” *Journal of Environmental Management*, v. 216, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.086>

MAZUCATO, V. S. H. et al. “Comportamento de wetland construído de fluxo vertical com fundo parcialmente saturado na remoção de matéria orgânica nitrogenada e fósforo.” *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 8, 2020.

MENDONÇA, H. V. “Remoção de nitrogênio e fósforo de águas residuárias de laticínios por sistemas alagados construídos operando em bateladas.” *Revista Ambiente & Água*, v. 7, n.2, 2012.

MOHEDANO, R. A. *Uso de macrófitas lemnáceas (Landoltia punctata) no polimento e valorização do efluente de suinocultura e na fixação de carbono*. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

MONTEIRO, N. Q.; MACHADO, A. L. S. “Possible sustainable measures to be applied in the community of Lago do Catalão in Iranduba, Brazil.” *Revista foco*, v. 16 (dez 2023). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.805>

MOTA, F. A. C.; SARGENTINI JÚNIOR, É.; SANTANA, G. P. “Potencial de fitorremediação da *Alocasia macrorrhiza* para Co, Cu, Ni e Zn.” *Scientia Amazonia*, v. 5, n. 3, 2016.

MUKHOPADHYAY, A.; DUTTAGUPTA, S.; MUKHERJEE, A. “Emerging organic contaminants in global Community drinking water sources and supply: a review of occurrence, processes and remediation.” *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 10, n. 3, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107560>

NEVES, A. L. R. et al. “Aspectos socioambientais e qualidade da água de dessalinizadores nas comunidades rurais de Pentecoste - CE.” *Ambiente & Água: An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 12, n. 1, 2017. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1722>

NUNES, A.S.; COSTANZI, R. N. “Meios suportes para remoção de fósforo em wetlands construídos.” In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL. Anais... Vitória, Espírito Santo, 2020.

OLIVEIRA, L. S. Implantação e avaliação da eficiência de sistemas WCs acoplados a filtro de carvão ativado para o tratamento de água para consumo humano. Dissertação (Mestrado em Química). Manaus, Universidade Federal do Estado do Amazonas, 2022.

OLIVEIRA, J.J.L.; SOUSA, T. M. I.; BRANDÃO, A. F. M. T. “Dimensionamento de wetlands construídos: uma análise de diferentes métodos para aplicabilidade na região sul do Ceará.” In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE GESTÃO, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO (EIGEDIN).” Anais... v. 4, n. 1, outubro de 2020.

PHILIPPI, L. S. “Aplicação de sistemas tipo Wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas.” Florianópolis: Ed. do Autor, 2004.

POÇAS, C. D. Utilização da tecnologia de wetlands para tratamento terciário: controle de nutrientes. Dissertação (Mestrado em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade. São Paulo), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

RIBAS, F. B. T.; SILVA, W. L. “Biossorção: uma revisão sobre métodos alternativos promissores no tratamento de águas residuais.” Matéria, v. 27, n. 2, 2022. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620220002.1312>

RODRIGUES, D. O.; SILVA, S. L. R.; SILVA, M. S. R. “Avaliação ecotoxicológica preliminar das águas das bacias hidrográficas dos rios Tarumã, São Raimundo e Educandos.” Acta Amazonica, v. 39, n. 4, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672009000400021>

SANTANA, G. P.; BARRONCAS, P. S. “Estudo de metais pesados (Co, Cu, Fe, Cr, Ni, Mn, Pb e Zn) na Bacia do Tarumã-Açu Manaus – (AM).” Acta Amazônica, v. 37, n. 1, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000100013>

SEZERINO, P. H. et al. “Experiencias brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais.” Eng. Sanit. Ambient. v. 20, n. 1, 2015. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000096615>

SEZERINO, P.H. et al. “Cartilha Wetlands construídos aplicados no tratamento de esgoto sanitário: recomendações para implantação e boas práticas de operação e manutenção.” Santa Catarina: GESAD; UFSC, 2018.

SOUZA-FILHO, E. A.; Hortêncio-Batista, I.; ALBUQUERQUE, C.C. “Levantamento de aspectos físico-químicos das águas da microbacia do mindu em Manaus-Amazonas Survey of physical-chemical aspects of mindu microbacy waters in Manaus-Amazonas Levantamiento de aspectos físico-químicos de las aguas de microbacia del mindu en Manaus-Amazonas.” Rev. Geog. Amer. Central, n. 63, 2019. <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.63-2.13>

STANUJIK, D. et al. “Assessment of progress towards achieving Sustainable Development Goals of the “Agenda 2030” by using the CoCoSo and the Shannon Entropy methods: The case of the EU Countries.” Sustainability, v. 12, n. 14, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12145717>

TAMINATO, M.; FERNANDES, H.; BARBOSA, D. A. “Enfermagem e os objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS): um compromisso essencial.”. Revista Brasileira de Enfermagem, v.76, n.6, 2023. <https://doi.org/10.1590/0034-7167.2023760601pt>

YAN, J., CHEN, J.; ZHANG, W. “Study on the groundwater quality and its influencing factor in SongyuanCity, Northeast China, using integrated.” *Science of The Total Environment*, v. 773, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.144958>

WEISE, K. et al. “Wetland extent tools for SDG 6.6 1 reporting from the Satellite-based Wetland Observation Service (SWOS).” *Remote Sensing of Environment*, v. 247, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111892>

VÖRÖSMARTY, C.J. et al. “Ecosystem-based water security and the Sustainable Development Goals (SDGs).” *Ecohydrology & Hydrobiology*, v. 18, n. 4, 2018.