ABORDAGENS PARA MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS EM BACIAS DE AMORTECIMENTO UTILIZADAS COMO LAGOS ORNAMENTAIS: UM ESTUDO DE CASO EM UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL URBANO

Danniela Da Cal Scott [(1)]

Doutorando em Dinâmica dos Oceanos e da Terra pela Universidade Federal Fluminense, Pós Graduando em Engenharia de Saneamento Básica (INBEC), Pós Graduando Engenharia de Segurança do Trabalho (Candido Mendes); Graduado em Engenharia Ambiental (UNIFTC).

Carolina Waite [(2)]

Pós doutorado em Dinâmica dos Oceanos e da Terra pela Universidade Federal Fluminense, Doutora e Mestre em Biologia Marinha e Ambientes Costeiros, Bióloga Marinha.

André Pedral S. de Sena [(3)]

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (2008); Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (2002); especialista em Informática para Educação pelo Centro Educacional de Pós-Graduação Olga Metting (1999). Eng. Eletricista pela Universidade Federal da Bahia (1986).

José Antonio Baptista Neto [(4)]

Graduação em Geografia pela Universidade Federal Fluminense (1990), Especialização e mestrado em Geologia e Geofísica Marinha pela Universidade Federal Fluminense (1993) e doutorado em Geociências - Queen's University, Belfast (1996) / Reino Unido.

Eduardo Camilo da Silva [(5)]

Doutor em Administração pelo Instituto COPPEAD da UFRJ e Professor Adjunto da Universidade Federal Fluminense, onde vem pesquisando nas áreas de Microestrutura de Mercado e Finanças Comportamentais. Graduado em Engenharia Eletrônica pelo Instituto Militar de Engenharia (1987).

Endereço [(1)]**:** Av. General Milton Tavares de Souza, s/n, 4 Andar, Campus da Praia Vermelha, Niterói, RJ, Brasil, CEP:24210-346- **Tel:** +55 (21) 99955-5728 - **e-mail:** dscott@id.uff.br.

RESUMO

Este estudo avalia a eficácia da biorremediação na melhoria da qualidade da água em bacias de amortecimento urbanas convertidas em lagos ornamentais. Com o crescente problema da poluição hídrica em áreas urbanizadas, propõe-se uma metodologia que incluem filtros e a aplicação de microrganismos bioaumentados para mitigar a contaminação. O estudo de caso foca em um lago artificial de um condomínio urbano, examinando os processos metabólicos da biorremediação em condições aeróbicas e anaeróbicas e seus efeitos na degradação de poluentes. Os resultados mostram uma melhoria significativa na qualidade da água, com redução de turbidez e concentração de poluentes, além da inesperada formação de amônia quaternária, um subproduto com potenciais implicações ambientais. Este achado destaca a importância do monitoramento rigoroso dos processos de biorremediação. O estudo enfatiza o potencial das soluções baseadas na natureza para resolver problemas ambientais urbanos, promovendo sustentabilidade e resiliência nas cidades. A pesquisa contribui para o desenvolvimento de práticas inovadoras na gestão de recursos hídricos, incentivando a adoção de abordagens simples e adaptativas que integrem conhecimento científico, envolvimento comunitário e políticas públicas.

PALAVRAS-CHAVE: Microrganismos Efetivos (ME); Biorremediação; Sustentabilidade Urbana

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial para a sobrevivência do homem e dos demais seres vivos do planeta. É uma substância fundamental para os ecossistemas naturais, um solvente universal e importante para a absorção de nutrientes do solo pelas plantas. Sua alta tensão superficial permite a formação de franjas capilares no solo, além de ser essencial para a formação de água atmosférica, influenciando o clima das regiões. Nos humanos, a água é responsável por aproximadamente três quartos de sua constituição. Infelizmente, este recurso natural encontra-se cada vez mais limitado e exaurido pelas ações impactantes do homem nas bacias hidrográficas, degradando sua qualidade e prejudicando os ecossistemas (SENA et al., 2017).

A realidade hídrica, principalmente nos aspectos relativos ao abastecimento e uso da água, é um tema que, historicamente, tem marcado discussões sobre regiões com baixo índice pluviométrico. Estas preocupações têm sido focadas em estudos nos últimos anos e os esforços dos pesquisadores têm-se concentrado em procurar compreender a correlação entre a água nestas regiões e os seus indicadores socioeconômicos. A escassez de água atinge gravemente a população, gerando miséria, resultante da perda da capacidade produtiva em consequência da degradação ambiental (SENA et al., 2017 e CUNHA et al., 1998).

A urbanização acelerada tem sido um fenômeno global nas últimas décadas, resultando na transformação de áreas verdes em ambientes urbanos construídos (GUITARRA, 2024). Neste contexto, a gestão adequada dos recursos hídricos torna-se crucial, especialmente tendo em conta os desafios relacionados com a drenagem das águas pluviais e a qualidade da água nos corpos hídricos urbanos (ROCHA et al., 2022). Uma das estratégias comumente utilizadas para lidar com esses desafios é a construção de bacias de amortecimento, que visam controlar o fluxo de água e reduzir os impactos das inundações nas áreas urbanas.

Esta expansão urbana levou a uma série de consequências negativas, incluindo inundações recorrentes, especialmente devido às alterações climáticas e à falta de infraestruturas de drenagem adequadas, bem como à capacidade limitada das autoridades públicas de fiscalização (ROCHA et al., 2022 e HÖLTZ et al, 2011). Além disso, a urbanização tem contribuído para a poluição dos corpos hídricos, comprometendo os seus valores naturais, recreativos e econômicos.

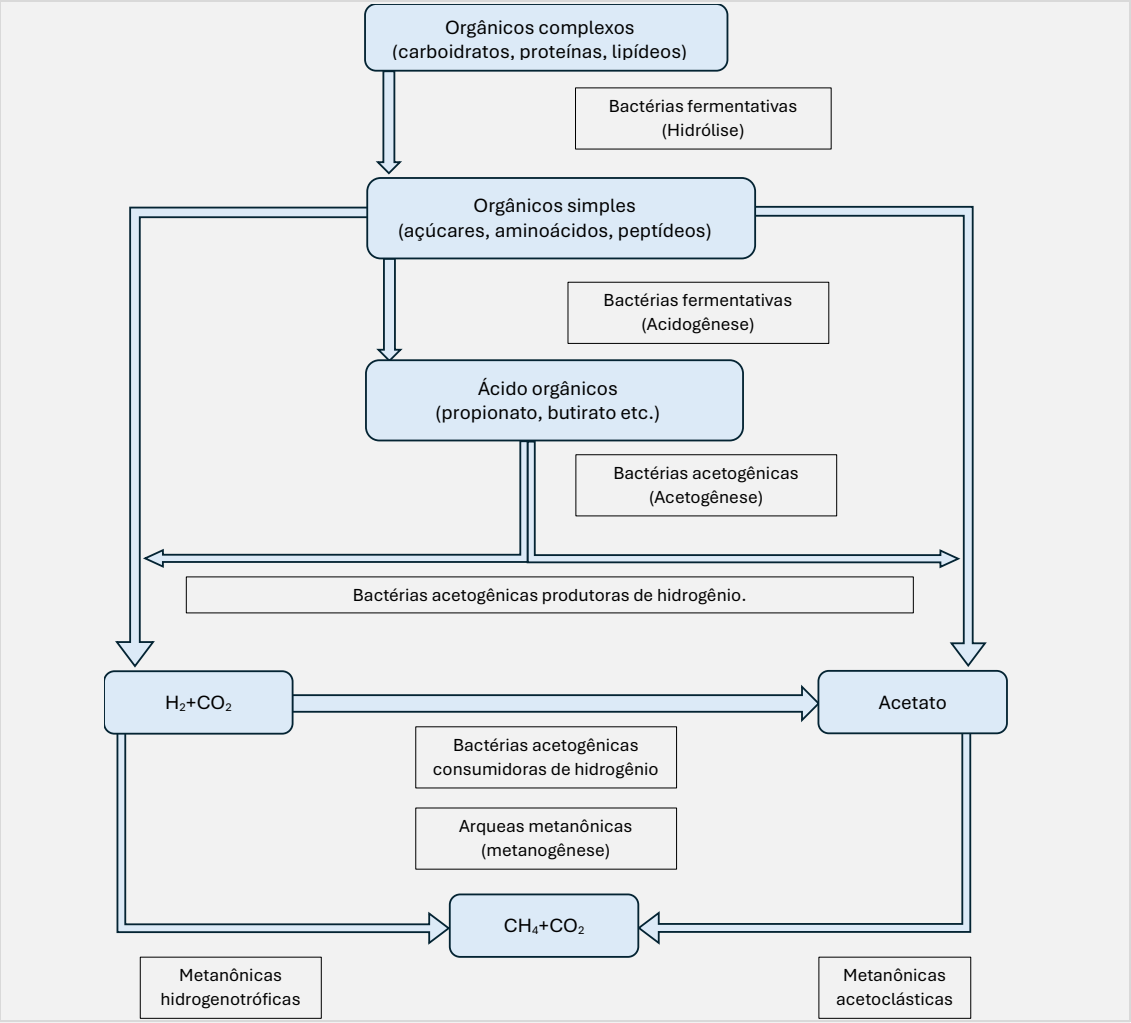
Nessas condições, a implantação de sistemas de drenagem com bacias de amortecimento surgiu como estratégia para mitigar os impactos da impermeabilização urbana em microbacias. Esses sistemas visam controlar tanto a vazão quanto a qualidade da água da chuva, que, ao fluir sobre superfícies impermeáveis, carregam consigo uma variedade de poluentes, muitos dos quais estão associados aos sedimentos em suspensão (GRIBBIN, 2009).

Diante deste cenário, a intervenção humana torna-se crucial para restaurar o equilíbrio ambiental perdido. Vários métodos de restauração foram explorados, variando em termos da escala de intervenção no ambiente natural e da estabilidade dos seus parâmetros (por exemplo, SØNDERGAARD et al., 2007). Neste contexto, a biorremediação microbiológica surge como uma abordagem promissora para a remediação de áreas degradadas, envolvendo a aplicação de consórcios de microrganismos e seus compostos bioquímicos para acelerar a degradação de poluentes (MINGJUN et al., 2009).

Dentre os microrganismos com potencial de biorremediação destacam-se bactérias lácticas, leveduras e Bacillus, que são conhecidos por sua capacidade de degradar uma variedade de compostos orgânicos e inorgânicos. Nesse contexto, este artigo propõe desenvolver uma metodologia para introdução desses microrganismos em uma bacia de amortecimento, convertida em lago ornamental, visando acelerar a biodegradação da matéria orgânica e reduzir os impactos ambientais causados pelos resíduos transportados pela rede de drenagem do condomínio. O estudo de caso apresentado tratou de um lago artificial num condomínio residencial urbano, onde se procuram soluções baseadas na natureza para manter a funcionalidade da bacia de amortecimento, apesar dos desafios associados à sua utilização como lago ornamental.

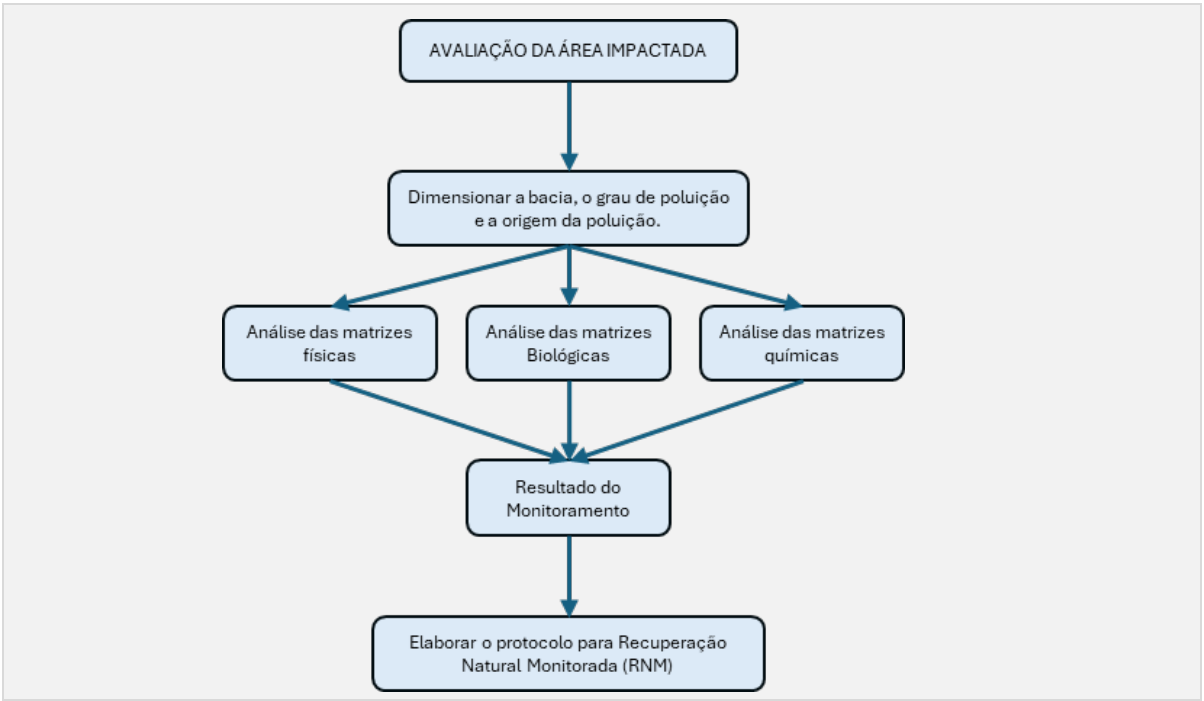
Os processos metabólicos envolvidos na biorremediação microbiológica podem ocorrer em condições aeróbicas ou anaeróbicas, dependendo da disponibilidade de oxigênio no ambiente contaminado (CHERNICHARO, 1996). Na presença de oxigênio ocorre a degradação aeróbica dos contaminantes,

onde os microrganismos utilizam o oxigênio para oxidar compostos orgânicos (Infográfico 1), produzindo dióxido de carbono, água e biomassa como subprodutos. Por outro lado, na ausência de oxigênio, os microorganismos podem realizar a degradação anaeróbica dos contaminantes, utilizando outros mecanismos, como nitrato, sulfato ou dióxido de carbono, como receptores finais de elétrons (CHERNICHARO, 1996).



Infográfico 1 – Infográfico de digestão anaeróbica. Fonte: Chernicharo (1996)

Para o controle e a avaliação da Biorremediação será utilizado a Revitalização Natural Monitorada (MNR), que ilustra o compromisso de longo prazo com a recuperação ecológica, buscando o reequilíbrio biológico dos ecossistemas afetados. Esta abordagem é fundamentada no entendimento de que, ao reintegrar os processos naturais e promover a transformação de contaminantes em substâncias menos tóxicas, é possível estimular a regeneração natural e proteger tanto a saúde humana quanto a biodiversidade. A eficácia do MNR é avaliada por meio de uma série de indicadores (Infográfico 2), fornecendo um quadro bastante abrangente sobre a recuperação do ambiente. (MAGAR & WENNING., 2006)



Infográfico 2 - Ilustração do processo de Recuperação Natural Monitorada. Fonte: (MNR), 2024

OBJETIVO(S)

Elaborar uma metodologia para a introdução desses microrganismos em uma bacia de amortecimento, convertida em lago ornamental, visando acelerar a biodegradação da matéria orgânica e reduzir os impactos ambientais causados pelos resíduos carreados pelo sistema de drenagem do condomínio.

METODOLOGIA UTILIZADA

A área de estudo foi uma bacia de amortecimento transformada em lago ornamental em um condomínio residencial urbano, com uma área de aproximadamente 3.350 m² e um volume médio de 1.675 m³ (Figura 1) e é alimentada pelas águas pluviais da drenagem do condomínio, sem fonte natural, com uma saída para o corpo hídrico Arroio Fundo, apenas quando chove.



Figura 1 – Vista aérea do Lago, Google Earth 2024

Para auxiliar na biorremediação, foi construída uma sequência de filtros (ETA) com várias granulometrias, passando da mais grossa para mais fina (Figura 2). A ETA tem o objetivo de manter a qualidade da água e aplicar o bioinsumo no lago artificial. Para tanto foi elaborado um protocolo de operação.

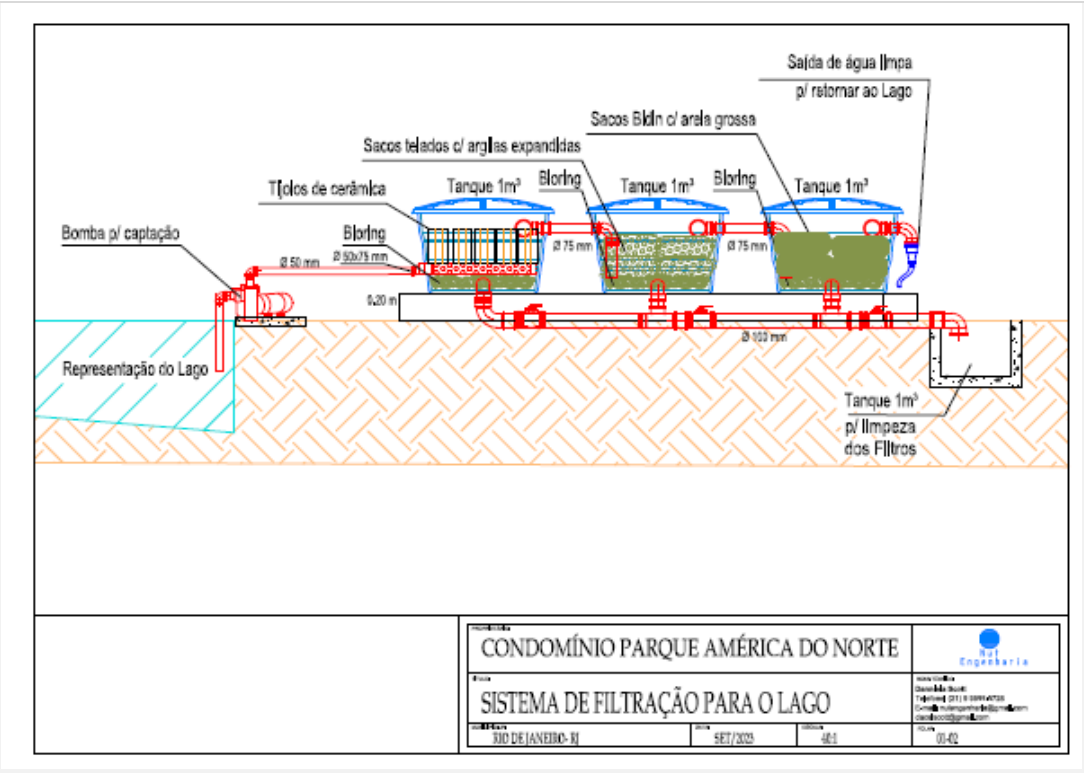


Figura 2 – Diagrama de montagem da Estação de Tratamento de Água (ETA).

Os microrganismos selecionados para a biorremediação foram adquiridos em um produto comercial que continha as espécies *Lactobacillus plantarum* em consórcio com *Saccharomyces cerevisiae* em sua formulação. Os microrganismos foram bioaumentados seguindo a proporção de 5% do inóculo, 1.5% do

ativador, 0.4% de sal e 95% de água limpa e livre de cloro. O produto, após a homogeneização, ficou em crescimento durante 3 dias e, após o tempo de bioaumentação, foi inoculado na ETA. A água do lago é captada e passa pela ETA para remoção dos sólidos, entrando em contato com os microrganismos que irão acelerar o tratamento.

A aplicação dos microrganismos bioaumentados ampliou a eficiência da ETA na redução da carga de poluentes e na melhoria da qualidade da água do lago ornamental. A utilização dessas técnicas de biorremediação mostrou-se uma abordagem promissora para lidar com os desafios enfrentados na gestão de corpos hídricos urbanos, especialmente em ambientes construídos.

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados do MNR, detalhados na Tabela 1 e ilustrados na Figura 3, mostram uma melhoria substancial na qualidade da água do lago ornamental após a aplicação de técnicas de biorremediação. Observou-se uma redução significativa nos níveis de poluentes orgânicos e inorgânicos, bem como uma diminuição na turbidez. Essa clareza aprimorada da água reflete a eficácia das intervenções realizadas.



(a) Antes – 23/11/2023



(b) Depois – 10/03/2024

Figura 3 – Nestas fotos você pode observar a melhora na qualidade da água antes **(a)** e depois **(b)** do tratamento da ETA enriquecido com Microrganismos.

Esses avanços estão em consonância com achados da literatura científica que consistentemente destacam a eficácia das técnicas de biorremediação em ambientes aquáticos. Estudos como os de Smith et al. (2015) confirmam que a biorremediação não só reduz efetivamente a concentração de poluentes, mas também melhora a qualidade geral da água em diversos contextos aquáticos, evidenciando seu potencial como uma solução sustentável para a gestão de recursos hídricos urbanos.

Tabela 1– resultado da análise de qualidade, E = +/- 4,8ppm

ÍNDICES	Antes do tratamento	Depois do tratamento
Temperatura (°C)	27,70	29,60
pH	9.6	9,60
DO - Dissolvido Oxigênio (mg/L)	2,80	6h50
NH - -Amônia (ppm)	0,44	0,10

qA-QACs – Composto Amônio Quaternário (ppm)	0,00	9h50
NO_2 - Nitrito (ppm)	0,08	0,00
NO_3 - Nitrato (ppm)	0,00	0,00
PO_4 - Fosfato (ppm)	0,00	0,00
S - Sulfeto (ppm)	0,13	0,00
SO_4 - Sulfate (ppm)	0.00	0.00
TR1 - Turbidez (NTU)	17.00	0.00

06-01-2024

ÍNDICE	P-01	P - 02	P - 03	P - 04
Temperatura (°C)	25,60	24,80	26,10	28,00
OD - Oxigênio Dissolvido (mg/L)	6,00	7,00	5,20	6,20
pH	8,90	9,60	9,20	9,50
NH - Amônia (ppm)	0,00	0,01	0,00	0,00
NO2 - Nitrito (ppm)	0,07	0,06	0,00	0,12
NO3 - Nitrato (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,00
PO4 - Fosfato (ppm)	0,00	0,00	0,02	0,03
qA-QACs – Composto Amônio Quaternário (ppm)	7,00	5,60	8,00	8,10
S - Sulfeto (ppm)	0,03	0,09	0,03	0,03
SO4 - Sulfato (ppm)	0,00	0,06	7,00	6,00
TR1 - Turbidez (NTU)	10,00	<7,00	21,00	14,00

06-08-2024

ÍNDICE	P-01	P - 02	P - 03	P - 04
Temperatura (°C)	24,30	24,60	24,80	24,80
OD - Oxigênio Dissolvido (mg/L)	6,60	6,30	3,20	3,50
pH	9,60	9,60	9,10	9,10
NH - Amônia (ppm)	0,06	0,00	0,00	0,00
NO2 - Nitrito (ppm)	0,00	0,16	0,00	0,00
NO3 - Nitrato (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,00
PO4 - Fosfato (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,27
qA-QACs – Composto Amônio Quaternário (ppm)	5,60	5,50	5,70	6,70
S - Sulfeto (ppm)	0,03	0,04	0,00	0,09
SO4 - Sulfato (ppm)	10,00	17,00	7,00	20,00
TR1 - Turbidez (NTU)	14,00	14,00	<7,00	<7,00

Fonte: Autores

Para a análise detalhada da qualidade físico-química da água antes e após o tratamento de biorremediação, utilizou- se o Fotômetro de Multiparâmetros Micro 20 da marca Akso, conforme ilustrado na Figura 4. Este equipamento moderno possibilita a análise precisa de múltiplos parâmetros físico-químicos usando apenas 4 ml de amostra de água por teste. O processo de análise envolve a adição de fitas reagentes específicas para cada parâmetro, o que facilita a obtenção de resultados rápidos e confiáveis. A precisão desta tecnologia avançada é

fundamental para monitorar a eficácia das intervenções da biorremediação, fornecendo dados essenciais para avaliações ambientais e suporte a decisões de gestão.



(a) **(b)** **(c)** **(d)**

Figura 4 – Nestas fotos (a), (b), (c) e (d), mostra como foi realizado o MNR.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Avaliação e Melhorias no Processo de Biorremediação

O Fotômetro de Multiparâmetros tem sido fundamental para simplificar a coleta e análise de dados, assegurando a precisão necessária para avaliar as alterações na composição físico-química da água do lago. Comparando os dados pré e pós-tratamento, conseguimos quantificar o impacto da biorremediação em diversos parâmetros, incluindo a significativa redução de compostos nitrogenados, fosfatos e outros poluentes. A consistência desses resultados com estudos prévios (SMITH et al., 2015) reforça a eficácia das técnicas de biorremediação e amplia a importância de um monitoramento contínuo para assegurar a saúde ecológica dos ecossistemas aquáticos. Este monitoramento rigoroso é crucial para compreender as dinâmicas do ecossistema e planejar ações de manejo e conservação futuras.

A drástica redução na turbidez, de 17 NTU para 0 NTU, destaca uma melhoria notável na transparência da água, fundamental para a saúde do ecossistema aquático. A turbidez é um indicador chave da qualidade da água, pois altos valores indicam altas concentrações de partículas suspensas que podem ser prejudiciais à vida aquática. A remoção eficaz da turbidez melhora a penetração de luz, favorecendo os processos fotossintéticos e, por conseguinte, o equilíbrio ecológico.

Além disso, observou-se uma diminuição significativa na concentração de amônia, de 0.44 ppm para 0.10 ppm, um resultado crucial dada a toxicidade da amônia para a vida aquática. A ausência de nitrito pós-tratamento indica a eficiência do sistema de biorremediação em converter nitritos, que são tóxicos, em formas menos nocivas, por meio dos processos de nitrificação e desnitrificação.

O aumento do oxigênio dissolvido de 2.80 mg/L para 6.50 mg/L também reflete o sucesso da biorremediação, pois níveis adequados de oxigênio dissolvido são essenciais para a respiração dos organismos aquáticos. Esse aumento é atribuído à redução da demanda bioquímica de oxigênio necessário para decompor os poluentes antes presentes.

Para assegurar a gestão e sustentabilidade a longo prazo dessas intervenções, uma abordagem integrada que envolva monitoramento contínuo, participação comunitária e políticas públicas eficazes é essencial. Esta abordagem holística não apenas promove a melhoria imediata da qualidade da água, mas também garante a manutenção da saúde ecológica dos ecossistemas aquáticos no longo prazo.

Foi observado a presença da amônia quaternária (qA-CAQ) de 9.50 ppm na saída da ETA, após o processo de biorremediação, levanta questões importantes sobre as interações químicas no tratamento e os desafios de medição. Este incremento é particularmente intrigante, dado que a amônia quaternária não foi detectada no lago após o tratamento, sugerindo que sua formação ou concentração ocorre especificamente dentro do sistema de tratamento e não persiste no ambiente externo.

Os *Lactobacillus plantarum* e as *Saccharomyces cerevisiae*, utilizados na biorremediação, são conhecidos por produzir uma variedade de metabólitos em seus metabolismos. Alguns desses metabólitos, como ácidos orgânicos e peptídeos antimicrobianos, possuem propriedades que podem interferir nos sistemas de detecção química, como os utilizados pelo Fotômetro de Multiparâmetros Micro 20 da marca Akso. Esses dispositivos, projetados para identificar a presença de certos químicos através de reações colorimétricas, podem interpretar erroneamente as mudanças na coloração ou turbidez causadas por esses metabólitos como sinais de amônia quaternária (OIT, 1993; NITSCHKE, M. e PASTORE, M. G., 2002).

Essa interpretação equivocada ocorre porque o fotômetro é calibrado para reagir a específicas alterações químicas que, sob circunstâncias normais, indicariam a presença de amônia quaternária. No entanto, a presença de ácidos orgânicos e outras substâncias bioquímicas pode alterar o pH ou a composição química da amostra de maneira que mimetize essas mudanças, levando a leituras falsas. Por exemplo, ácidos orgânicos podem reagir com os reagentes do teste e alterar a cor da solução, que o fotômetro interpreta como um aumento nos níveis de amônia quaternária.

Esta complexidade é agravada pela capacidade dos microrganismos de produzir uma gama diversificada de metabólitos secundários em um ambiente dinâmico como o de uma ETA. Esses metabólitos podem interagir de formas não previstas, não apenas entre si mas também com os reagentes químicos utilizados nos testes. Portanto, é essencial que o monitoramento da qualidade da água inclua análises complementares, como cromatografia líquida e espectrometria de massas, que podem distinguir entre compostos com maior especificidade e precisão. A integração dessas técnicas mais avançadas pode fornecer uma compreensão mais clara das transformações químicas ocorrido dentro da ETA, garantindo assim a precisão das leituras e a segurança ambiental.

Foram realizados alguns testes no Fotômetro Multiparâmetros Akso Micro 20 para verificação se a calibração e o funcionamento do equipamento estava dentro limite de erro de litura (Tabela 2)

Tabela 2– resultado da análise de qualidade, E = +/- 4,8ppm

ÍNDICE	ppm
Ponto oposto da ETA	5,50
Água de origem de poço filtrado no Milli-Q® Direct Water Purification System	3,60
Água de origem de poço filtrado no Purificador Electrolux	4,20
Água da saída do ar-condicionado	0,0

Fonte: Autores

Os resultados da Tabela 2 indicam que os QACs podem ser provenientes da contaminação do lençol freático. Devido ao uso extensivo de QACs em produtos domésticos e industriais, eles chegam às estações de tratamento de águas residuais em quantidades substanciais. As principais fontes de QACs liberados no meio ambiente são os efluentes e lodos provenientes de estações de tratamento de esgoto (ETEs) (CLARA et al., 2007; MARTINEZ-CARBALLO et al., 2007a; MARTINEZ-CARBALLO et al., 2007b; MERINO et al., 2003a; LI et al., 2014). Outras fontes locais pontuais incluem hospitais e águas residuais de lavanderias (KÜMMERER et al., 1997; KREUZINGER et al., 2007). Como muitos QACs sólidos têm pontos de fusão na faixa de 100-300 °C (DEETLEFS, 2006), isso descarta a possibilidade de estarem na atmosfera e de contaminarem o lago por precipitação.

Fauna Aquática e Melhoria na Qualidade da Água

A presença de uma fauna aquática saudável e o surgimento de grandes quantidades de novos alevinos no lago ornamental estão diretamente ligados às melhorias na qualidade da água resultantes da biorremediação efetuada por um consórcio bioaumentados de *Lactobacillus plantarum* e *Saccharomyces cerevisiae*. Esses microrganismos são conhecidos por seus processos metabólicos eficazes, que desempenham um papel crucial na degradação de poluentes orgânicos e na redução de compostos tóxicos. Especificamente, o *Lactobacillus plantarum* tem um impacto significativo nesse processo através de sua habilidade de fermentação, que não

apenas ajusta o pH do ambiente aquático, tornando-o menos favorável à sobrevivência de patógenos, mas também reduz a solubilidade de certos poluentes tóxicos (MOORE et al., 2018).

Além disso, as enzimas produzidas por este *Lactobacillus* são capazes de degradar substâncias orgânicas complexas em moléculas menores e menos nocivas. Essa ação enzimática contribui para uma redução substancial da carga orgânica na água, resultando em uma melhora geral da qualidade da água e do ambiente aquático.

Paralelamente, *Saccharomyces cerevisiae* desempenha um papel vital ao metabolizar nitrogênio e outros nutrientes, que em excesso podem contribuir para a eutrofização. Essa levedura consegue transformar estes compostos em biomassa celular ou excretá-los em formas menos nocivas, ajudando assim a controlar a proliferação de algas prejudiciais e a manter os níveis de oxigênio dissolvido saudáveis (MOORE et al., 2018).

A interação sinérgica entre *Lactobacillus plantarum* e *Saccharomyces cerevisiae* não apenas reduz a toxicidade do ambiente aquático através da degradação eficaz de poluentes, mas também promove a criação de um ecossistema aquático mais diversificado e saudável. Esta parceria biológica diminui também a turbidez da água, o que permite uma maior penetração da luz solar e facilita os processos fotossintéticos. A consequência direta deste aumento da fotossíntese é uma elevação nos níveis de oxigênio dissolvido, o que é vital para a sustentação de uma diversidade mais ampla de espécies aquáticas (MOORE et al., 2018).

Essa abordagem de biorremediação destacada, focada nos processos metabólicos específicos desses microrganismos, reforça a importância das estratégias biotecnológicas direcionadas na gestão e recuperação de ecossistemas aquáticos impactados por poluentes. Ao degradar matéria orgânica, compostos nitrogenados e fosfato, *Lactobacillus plantarum* e *Saccharomyces cerevisiae* não só melhoram a qualidade da água, mas também contribuem significativamente para a manutenção dos serviços ecossistêmicos, incluindo a purificação da água e o suporte a redes alimentares complexas, essenciais para a saúde e estabilidade dos ecossistemas aquáticos (MOORE et al., 2018).

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a biorremediação pode ser uma ferramenta eficaz na melhoria da qualidade da água em bacias de amortecimento convertidas em lagos ornamentais. A implementação da ETA e a aplicação de microrganismos bioaumentados mostraram-se medidas viáveis e sustentáveis para lidar com os desafios de manutenção e gestão desses ambientes em contextos urbanos.

A interpretação equivocada do fotômetro dos metabólitos como sendo a amônia quaternária, destaca a complexidade dos processos microbiológicos e a necessidade de um monitoramento rigoroso e contínuo dos efeitos da biorremediação, tanto para prever quanto para mitigar eventuais impactos adversos no ecossistema aquático. Este achado, destaca a importância de compreender plenamente as interações entre microrganismos, poluentes e o ambiente hídrico para otimizar as estratégias de remediação.

Adicionalmente, o caso estudado ilustra o potencial de soluções baseadas na natureza para resolver problemas ambientais urbanos, reforçando a ideia de que o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias verdes, como a biorremediação, devem ser priorizados. Este enfoque não apenas ajuda na recuperação de áreas degradadas mas também promove a sustentabilidade e a resiliência das cidades diante das mudanças climáticas e do crescimento populacional.

A experiência relatada neste estudo contribui para conhecimento sobre biorremediação, oferecendo insights valiosos para futuras pesquisas e aplicações práticas. Entretanto, é crucial reconhecer que a gestão efetiva dos recursos hídricos em ambientes urbanos exige uma abordagem integrada, envolvendo não apenas a ciência e a tecnologia, mas também a participação comunitária, políticas públicas eficazes e uma compreensão profunda das dinâmicas socioeconômicas.

Em síntese, enquanto este estudo celebra os avanços significativos na melhoria da qualidade das águas urbanas através da biorremediação, também enfatiza a necessidade de estratégias simples e adaptativas na gestão dos recursos hídricos. A continuidade das pesquisas e a adoção de práticas inovadoras são essenciais para assegurar um futuro em que águas limpas e sustentáveis fluam livremente para as gerações vindouras, honrando nosso compromisso com a preservação e revitalização dos inestimáveis ecossistemas aquáticos de nosso planeta.

PATENTES

Não aplicável.

FINANCIAMENTO

Esta pesquisa foi financiada pelo Condomínio Geral do Parque América do Norte e pela Companhia de Desenvolvimento de Maricá - CODEMAR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABATENH E, GIZAW B, TSEGAYE Z, WASSIE M Abra J O Papel dos Microrganismos na Biorremediação - Uma Revisão, Environ Biol :038-046(2017).
2. CHERNICHARO, C.A.L. Reatores anaeróbios. 2a. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997. 380p. (coleção: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, Vol.5), Brasil.
3. CUNHA, Luís Veiga da. Segurança ambiental e gestão dos recursos hídricos. Nação e Defesa, 1998.
4. D'ERRICO, G. et al. Bioremediation of high organic load lagoon sediments: compost addition and priming effects. Chemosphere, v. 91, n. 1, p. 99-104, 2013.
5. DOE, L. (2009). "Impacts of Turbidity on Aquatic Life in Freshwater Ecosystems." Ecological Indicators, 9(2), 250-256.
6. FRANKLIN, R. (2013). "Biochemical Oxygen Demand and Water Quality." Annual Review of Environment and Resources, 38, 117-140.
7. GRIBBIN, J.E. Introdução à hidráulica e hidrologia na questão de águas pluviais. Tradução Damas, G. P. São Paulo, Cengage Learning, 2009. 497p.
8. HANSEN, D. J. (2012). "Ammonia Toxicity in Fish." Marine Pollution Bulletin, 64(2), 156-162.
9. HLORDZI, V. et al. The use of Bacillus species in maintenance of water quality in aquaculture: A review. Aquaculture Reports, v. 18, p. 100-503, 2020.
10. HÖLTZ, Fabiano da Costa. Uso de concreto permeável na drenagem urbana: análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental. 2011.
11. JONES, A. (2010). "Turbidity as an Indicator of Water Quality in Diverse Watersheds." Water Research, 44(5), 1410-1421.
12. LI, W. et al. Lactobacillus plantarum improves the efficiency of sheep manure composting and the quality of the final product. Bioresource Technology, v. 297, p. 122456, 2020.
13. MA, C.-W.; CHO, Y-S.; OH, K-H. Removal of pathogenic bacteria and nitrogens by Lactobacillus spp. JK-8 and JK-11. Aquaculture, v. 287, n. 3-4, p. 266-270, 2009.
14. MELO, I. S. Microbiologia ambiental. ed. rev. ampl. - Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 647 p, 2008.
15. MORIKAWA-SAKURA, MARINO S. et al. Application of Lactobacillus plantarum ATCC 8014 for wastewater treatment in fisheries industry processing. Jpn. J. Water Treat. Biol, v. 49, p. 1-10, 2013.
16. OLIVEIRA, H. M.et al. Redução de matéria orgânica com aplicação de Bacillus subtilis e B. licheniformis em sedimentos provenientes de viveiro de policultivo de Litopenaeus vannamei com Oreochromis niloticus. 2021.
17. PHIPSON, B.; SMYTH, GORDON K. Os valores P de permutação nunca devem ser zero: calculando valores P exatos quando as permutações são sorteadas aleatoriamente. Aplicações estatísticas em genética e biologia molecular, v. 9, n. 1, 2010.

18. SANCHEZ D., GREGORIO J., LOPEZ H., CARLOS A. Degradação de Aldrin por Bacillus licheniformis, isolado de água e sedimentos de Ciénaga Grande, Santa Marta, Colômbia. Acta biol. Colomb. [on-line].2012, vol.17, n.1, pp.67-76. ISSN 0120-548X.

19. SENA, André P. S. de; COUTINHO, Osvaldo A.; LIMA JR, Ailton de S. S. NEREU PROJECT: Construction of a Plasma Reactor for Reform of Methane for Treatment of Wastewater of The Marine Farms. In: Taner Yonar, editor. Desanilation. London: INTECH, 2017. Cap 11th.

20. SCARLATO, F. C. População e urbanização brasileira. In: ROSS, Jurandyr L. Sanches. (Org.) Geografia do Brasil. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2019. 6 ed. 3 reimpr.549p."

21. SMITH, J. et al. (2015). "Effectiveness of Bio-remediation Techniques in Aquatic Environments." Environmental Science & Technology, 49(14), 1234-1242.

22. STEEMERS F. J.; GUNDERSON K. L. Whole genome genotyping technologies on the Bead Array™ platform. Biotechnology Journal: Healthcare Nutrition Technology, v. 2, n. 1, p. 41-49, 2007