

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**ROSEMARY PORTO ALVES PEREIRA**

**CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPOS DE SISTEMAS *WETLANDS* PARA  
TRATAMENTO DE EFLUENTES: UMA PRÁTICA VOLTADA AO ENSINO BÁSICO**

**APUCARANA**

**2023**

**ROSEMARY PORTO ALVES PEREIRA**

**CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPOS DE SISTEMAS *WETLANDS* PARA  
TRATAMENTO DE EFLUENTES: UMA PRÁTICA VOLTADA AO ENSINO BÁSICO**

**PROTOTYPES' CONSTRUCTION OF WETLANDS SYSTEMS FOR EFFLUENT  
TREATMENT: A PRACTICE FOCUSED ON BASIC EDUCATION**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, multicampi Apucarana e Londrina da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador(a): Dra. Rubiane Ganascim Marques.  
Coorientador(a): Dra. Ana Cláudia Ueda.

**APUCARANA**

**2023**



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Londrina**



ROSEMARY PORTO ALVES PEREIRA

**CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPOS DE SISTEMAS WETLANDS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES: UMA PRÁTICA VOLTADA AO ENSINO BÁSICO**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Engenharia Ambiental.

Data de aprovação: 05 de Maio de 2023

Dra. Rubiane Ganascim Marques, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Ana Claudia Ueda, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Andre Luiz Tessaro, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Kelly Cristiane Iarosz, Doutorado - Faculdade de Telêmaco Borba (Fateb)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 08/05/2023.

Aos meus pais Ronaldo e Benedita; meu esposo,  
Marcos Agnaldo e aos meus filhos: Diedro, Piettra,  
Priscilla e Belchior por todo estímulo, apoio e  
compreensão.  
À Melina, minha neta, por toda leveza que trouxe  
com sua chegada.

## AGRADECIMENTOS

Gratidão a todos que se fizeram presentes e fortaleceram-me no ânimo e no anseio da busca pelo conhecimento.

Agradeço a Deus pelo dom da vida e pela possibilidade de construir conhecimentos.

À minha Orientadora Prof<sup>a</sup> Dra. Rubiane Ganascim Marques, por compartilhar conhecimento, exalar compreensão e me nortear com sabedoria nesta trajetória, amparando-me com disposição e empenho grandiosos.

À Coorientadora Prof<sup>a</sup> Dra Ana Claudia Ueda por todo auxílio e disponibilidade em compartilhar seus conhecimentos, colaborando com a produção desta pesquisa.

Às professoras Maria Onide Ballan Sardinha (*in memoriam*), Adriana Campos Inforzato, Simone Alves, Ironice Fonseca, Katia Simone Ribeiro Pereira pelo incentivo recebido.

Ao Colégio Estadual Abraham Lincoln de Kaloré/PR, pela permissão e colaboração durante a pesquisa, em especial ao Jefferson Fantachole, Darlene Cristina dos Santos dos Reis, Tânia Regina Macedo, Edval Rodrigues Fontes, Anayara Fernanda Pivati e Leila Aparecida Keller Mei.

Aos professores das disciplinas e aos colegas de sala, especialmente à Elaine Basílio Figueiredo, por sua colaboração e prontidão.

À Secretaria do Curso, pela cooperação.

À UTFPR, pela oferta de um programa de excelência.

À minha família, por todo apoio e incentivo.

E, a todos os que, de algum modo, contribuíram com a realização desta pesquisa.

Não se deve ir atrás de objetivos fáceis, é preciso buscar o que só pode ser alcançado por meio dos maiores esforços.

Albert Einstein

## RESUMO

Este trabalho discorre sobre a aproximação de estudantes e professores da Educação Básica - Ensino Fundamental (anos finais) e Ensino Médio com a Engenharia Ambiental. Utiliza metodologia prática que contempla os sistemas *wetlands* construídos para tratamento de águas residuais, didaticamente apresentado neste estudo com o tratamento de efluente sintético de azul de metileno para laboratórios de escolas públicas, a partir de protótipos. As unidades experimentais reproduzem os sistemas *wetlands*, que constituem-se em processos biológicos, físicos e químicos existentes em ambientes alagados naturalmente. A abordagem experimental da Engenharia Ambiental no âmbito escolar oportuniza aos estudantes e professores a utilização de práticas adaptáveis exequíveis para a resolução de problemáticas reais no meio em que vivem, de modo a torná-la funcional e acessível cotidianamente. Os professores, em contato com a mesma abordagem, podem ampliar as alternativas metodológicas voltadas para a sua prática pedagógica. A metodologia utilizada neste estudo alia a pesquisa bibliográfica e a pesquisa aplicada, com a experimentação que evidencia resultados positivos para o tratamento de efluentes a partir de sistemas *wetlands*. Todo o processo de construção das unidades experimentais favorece o reconhecimento da Engenharia Ambiental como solução para situações que englobam o cuidado com o meio ambiente. Trata-se de proporcionar aos estudantes e professores da Educação Básica uma visão ampla das potencialidades, funcionalidade e possibilidades que advém da Engenharia Ambiental aplicada no dia a dia. A construção dos protótipos, realizada em laboratório com a utilização da planta arroz das águas, possibilitou a testagem do tratamento do efluente sintético de azul de metileno. Resultados positivos foram alcançados quanto à visualização da remoção parcial do corante nas amostras tratadas. A utilização do ambiente escolar para o desenvolvimento deste estudo também possibilita que tanto estudantes quanto professores, possam atuar como multiplicadores do conhecimento adquirido ao longo de todo o processo, cujos resultados elucidam soluções acessíveis, de baixo custo e sustentáveis como possibilidade de tratamento da água.

**Palavras-chave:** construção de sistema *wetland*; tratamento de água; azul de metileno; educação básica; sustentabilidade.

## **ABSTRACT**

This work discusses the approximation of students and teachers of Basic Education - Elementary School (final years) and High School with Environmental Engineering. It uses a practical methodology that includes wetland systems built for wastewater treatment, didactically presented in this study with the treatment of synthetic methylene blue effluent for public school laboratories, based on prototypes. The experimental units reproduce wetland systems, which constitute biological, physical and chemical processes existing in naturally flooded environments. The experimental approach of Environmental Engineering in the school context gives students and teachers the opportunity to use adaptable practicable practices to solve real problems in the environment in which they live, in order to make it functional and accessible on a daily basis. Teachers, in contact with the same approach, can expand the methodological alternatives aimed at their pedagogical practice. The methodology used in this study combines bibliographic research with applied research, with experimentation that shows positive results for the treatment of effluents from wetland systems. The entire construction process of the experimental units favors the admission of Environmental Engineering as a solution for situations that involve care for the environment. It is about providing Basic Education students and teachers a broad view of the potentialities, functionalities and possibilities that come from Environmental Engineering applied in everyday life. The construction of the prototypes, made in the laboratory using the rice plant from the waters, enabled the test of the treatment of the synthetic methylene blue effluent. Positive results were achieved regarding the visualization of the partial removal of the dye in the treated samples. The use of the school environment for the development of this study also allows both students and teachers to act as multipliers of the knowledge acquired throughout the process, whose results elucidate affordable, low-cost and sustainable solutions as a possibility for water treatment.

**Keywords:** construction of wetland system; water treatment; methylene blue; basic education; sustainability

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Estrutura química do azul de metileno.....	22
Figura 2	Esquema representativo do protótipo de <i>wetlands</i> a ser utilizado nos experimentos para degradação de efluentes, evidenciando camadas: 4 – pedra brita; 3 – areia; 2 – solo; 1 – água.....	29
Figura 3	Delimitação da altura das camadas do substrato no espaço interno da floreira.....	29
Figura 4	Montagem dos protótipos - identificação das camadas do substrato (4 – pedra brita; 3 – areia; 2 – solo).....	30
Figura 5	Mangueira flexível na saída lateral inferior da unidade experimental.....	30
Figura 6	Fotos dos Lagos do Parque Urbano Municipal de Kaloré.....	31
Figura 7	Protótipo de sistema de <i>wetland</i> de fluxo horizontal a ser desenvolvido em laboratório escolar.....	31
Figura 8	Sistema de entrada de efluente de azul de metileno (semi-batelada) em protótipo contendo vegetação .....	32
Figura 9	Sistema de entrada de efluente de azul de metileno (semi-batelada) em protótipo com ausência de vegetação.....	32
Figura 10	Sistema de entrada de efluente de azul de metileno (fluxo contínuo) em protótipo contendo vegetação.....	33
Figura 11	Sistema de entrada de efluente de azul de metileno (fluxo contínuo) em protótipo com ausência de vegetação.....	33
Figura 12	Espectrofotômetro visível .....	34
Figura 13	Habitat natural de aguapés (alface d'água).....	35
Figura 14	Aguapés coletados para transplante em protótipo.....	36
Figura 15	Mudas de alface d'água transplantadas na unidade experimental...	36
Figura 16	Aguapé (lentilha d'água).....	37
Figura 17	Lentilha d'água em seu habitat natural.....	37
Figura 18	Plantação de taboa.....	38
Figura 19	Sementes de taboa adquiridas para plantio nas unidades experimentais.....	38
Figura 20	Plantação de arroz das águas em ambiente alagadiço.....	39

Figura 21	Características botânicas das plantas de <i>Oryza sativa</i> .....	40
Figura 22	Sementes de arroz em cachos.....	40
Figura 23	Unidades experimentais com a semeadura do arroz das águas.....	41
Figura 24	Brotamento das sementes de arroz das águas.....	41
Figura 25	Acompanhamento do crescimento das plantas de arroz das águas - 5 a 12 dias após a semeadura.....	42
Figura 26	Plantas de arroz das águas apresentando cor amarelada.....	42
Figura 27	Unidade experimental com aplicação manual de ureia.....	43
Figura 28	Acompanhamento do crescimento das plantas de arroz das águas 46 a 60 dias após a semeadura.....	43
Figura 29	Introdução de efluente sintético de azul de metileno em regime batelada.....	44
Figura 30	Coleta de amostra resultante do processo de tratamento de efluente.....	45
Figura 31	Tratamento de efluente sintético de azul de metileno através de protótipo de sistema <i>wetland</i> construído.....	45
Figura 32	Solução inicial de azul de metileno (a) e amostra resultante (b) após o tratamento via sistema <i>wetland</i> construído em protótipo.....	46
Figura 33	Raiz de arroz das águas, após participação como macrófita no sistema <i>wetland</i> construído, no tratamento de efluente sintético de azul de metileno.....	46
Figura 34	Transporte de protótipos: Kaloré-Apucarana.....	48
Figura 35	Protótipos de sistemas <i>wetlands</i> construídos acomodados no laboratório GETECA na UTFPR - campus Apucarana.....	48
Figura 36	Introdução de efluente sintético de azul de metileno, em batelada, no Sistema <i>Wetland</i> construído com ausência de vegetação.....	49
Figura 37	Coleta de amostra resultante do processo de tratamento de efluente (protótipo sem vegetação).....	49
Figura 38	Amostras resultantes do processo de tratamento de efluente sintético de azul de metileno em protótipo sem vegetação (vista superior) numeradas em ordem de 1 a 13, identificando a coleta ocorrida com intervalos de 5 minutos.....	50
Figura 39	Sistema de fluxo contínuo adaptado para introdução de efluente sintético de azul de metileno em protótipo com vegetação de sistema <i>wetland</i> construído.....	52

Figura 40	Coleta de amostra resultante do processo de tratamento de efluente (protótipo com vegetação).....	52
Figura 41	Amostras resultantes do processo de tratamento de efluente sintético de azul de metileno em protótipo com vegetação (vista frontal).....	53
Figura 42	Caules e folhas de plantas de arroz das águas evidenciando presença de corante azul de metileno, após tratamento de efluente sintético, via sistema <i>wetland</i> construído.....	54
Figura 43	Raiz de planta de arroz das águas evidenciando presença de corante azul de metileno, após tratamento de efluente sintético, via sistema <i>wetland</i> construído.....	54
Figura 44	Sistema de fluxo contínuo adaptado para introdução de efluente sintético de azul de metileno (protótipo sem vegetação) em sistema <i>wetland</i> construído.....	56
Figura 45	Amostras resultantes do processo de tratamento de efluente sintético de azul de metileno em protótipo sem vegetação (vista frontal).....	56
Figura 46	Soluções distribuídas em béqueres de 150ml .....	59
Figura 47	Soluções distribuídas em cubetas descartáveis.....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Relação entre a quantidade de efluente e o intervalo de tempo para a coleta das amostras realizada em protótipo com ausência de macrófitas sob regime batelada.....	51
Tabela 2	Relação entre a quantidade de efluente e o intervalo de tempo para a coleta das amostras tratadas pelo protótipo com presença de macrófitas (fluxo contínuo).....	53
Tabela 3	Relação entre a quantidade de efluente e o intervalo de tempo para a coleta das amostras tratadas pelo protótipo com ausência de macrófitas (fluxo contínuo).....	57
Tabela 4	Concentração das soluções de corante azul de metileno.....	58

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1. JUSTIFICATIVA.....	16
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>18</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>19</b>
3.1 SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL: UMA PRÁTICA NECESSÁRIA .....	19
3.2 POLUIÇÃO HÍDRICA.....	21
3.3 SISTEMAS <i>WETLANDS</i> CONSTRUÍDOS: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL .....	23
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>28</b>
4.1 APRESENTAÇÃO DO PROJETO DE PESQUISA À DIREÇÃO DA ESCOLA .....	28
4.2 PROTÓTIPO DE SISTEMAS <i>WETLANDS</i> CONSTRUÍDOS EM LABORATÓRIO.....	28
4.3 BUSCA DE VEGETAÇÃO PARA COMPOR OS PROTÓTIPOS.....	31
4.4 TESTES DE DESCOLORAÇÃO DO EFLUENTE SINTÉTICO DE AZUL DE METILENO.....	31
4.5 ACOMPANHAMENTO DE RESULTADOS.....	33
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>35</b>
5.1 MACRÓFITAS TESTADAS .....	35
5.1.1 Agupé alface d'água .....	35
5.1.2 Agupé lentilha d'água .....	37
5.1.3 - Taboa .....	38
5.1.4 Arroz das águas .....	39
5.2 PLANTIO DO ARROZ DAS ÁGUAS .....	40
5.2.1 Brotamento e acompanhamento do crescimento do arroz das águas..	41
5.3 VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO.....	44

5.3.1 Teste 1: protótipo com vegetação – regime semi-batelada.....	44
5.3.2 Teste 2: protótipo controle – regime semi-batelada.....	47
5.3.3 Teste 3: protótipo com vegetação – fluxo contínuo.....	51
5.3.3.1 Resultado – varredura espectrofotometria.....	55
5.3.4 Teste 4: protótipo controle – fluxo contínuo.....	55
5.4 FICHA TÉCNICA - ATIVIDADE EXPERIMENTAL .....	59
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>60</b>
6.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	61
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>62</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>67</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A implementação de atividades experimentais no cotidiano da escola regular em nível Fundamental e Médio pode contribuir essencialmente com a aprendizagem dos estudantes e também com a valorização da Engenharia Ambiental para a resolução de problemas que possam constituir o entorno dos mesmos.

Ao propor as experimentações, utilizam-se historicamente, os sistemas *wetlands* construídos que foram utilizados para o tratamento de águas residuais domésticas e municipais. A partir do final dos anos 1960, esses sistemas foram utilizados amplamente para o tratamento de esgoto doméstico, águas residuais provenientes de atividades de agricultura e pecuária, efluentes industriais, drenagem de minas, lixiviados de aterros, escoamento superficial urbano e águas de rios poluídos (FRANCO & MOURA, 2017).

Considerando os sistemas *wetlands* semelhantes a sistemas alagados, constata-se que a vegetação utilizada, bem como a comunidade microbiana e estrato de solo (ou ainda areia e cascalho) contribuem para a remoção dos poluentes do efluente a ser tratado. Trata-se de uma tecnologia desenvolvida para operar em diversas condições climáticas, principalmente, em climas tropicais (WU, S.*et. al.*, 2014 *apud* FRANCO & MOURA, 2017). Conforme Franco e Moura (2017), estruturalmente, os sistemas *wetlands* construídos podem ser constituídos a partir de plantas flutuantes, macrófitas fixas submersas, solos filtrantes, plantas emergentes, fluxo superficial, fluxos subsuperficiais, fluxos combinados, dentre outros modelos.

A promoção de atividades práticas que englobem a atuação da Engenharia Ambiental, nesse sentido, é essencial para que se possibilite a construção de um maior conhecimento dos ecossistemas advindos dos sistemas *wetlands*, bem como a percepção dos seus benefícios e contribuições ao local em que está sendo implementado. Assim, serão apresentadas aos estudantes e professores atividades experimentais simples, realizadas com materiais pouco dispendiosos, utilizados no nosso dia-a-dia, de maneira a evidenciar a importância da Educação Ambiental para o cotidiano escolar e domiciliar dos estudantes.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Os estudantes e professores dos anos finais do Ensino Fundamental e do Ensino Médio de instituições públicas têm contato com a educação ambiental que está inclusa nos componentes curriculares. Esse contato dá-se pelo trabalho de conscientização e construção de hábitos sustentáveis.

A introdução da Engenharia Ambiental por meio do trabalho prático traz a possibilidade de engendrar o trabalho que já é realizado pelas escolas, oportunizando aos estudantes a utilização de práticas adaptáveis ao ambiente escolar e doméstico na resolução de problemas ambientais que os cercam. Tal funcionalidade também pode propiciar aos professores a expansão das suas possibilidades de trabalho, com vistas a veicular de modo prático o conhecimento que mediam, ampliando as alternativas metodológicas para a prática pedagógica voltada à educação ambiental.

O contato direto com o laboratório e a oportunidade de desenvolver técnicas que permitam a compreensão de processos e sistemas específicos; a veiculação e utilização dessas técnicas em favor da resolução de questões que os cercam, também pode oportunizar aos estudantes a construção do conhecimento sólido e significativo.

Este trabalho possibilita a abordagem da Engenharia, a partir da percepção de que ela pode estar inserida em situações cotidianas no entorno da educação básica. Apresentando principalmente, a possibilidade de tratamento da água com método simples, acessível, de baixo custo e sustentável.

A partir de tais proposições, o trabalho desenvolvido permite que professores e estudantes da educação básica possam utilizar o processo de tratamento de efluente residual como experimentação, favorecendo a abordagem prática e a aplicação. Sendo que o ponto central deste estudo é a construção de sistemas *wetlands*, para o tratamento de efluentes a partir de protótipos desenvolvidos em laboratório, com estrutura composta de macrófitas, material filtrante e um conjunto de microrganismos.

A escolha do ambiente escolar baseou-se principalmente no fato dos usuários serem considerados multiplicadores de conhecimento. Trata-se de introduzir, estudar e aplicar recursos advindos da Engenharia Ambiental em favor de usufruir de seus resultados no ambiente escolar e na comunidade.

Além disso, a experiência desenvolvida em laboratório proporcionou a elaboração de uma ficha técnica com o roteiro descritivo de todo o processo, trazendo

a possibilidade de utilização por professores e estudantes da educação básica no âmbito escolar.

## 2 OBJETIVOS

A efetivação da pesquisa, considerando todas as condições ambientais constatadas, bem como as conclusões advindas da revisão de literatura, prevê o alcance dos objetivos a seguir.

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver atividade experimental, com ênfase nos sistemas *wetlands* construídos, compreendidos como recurso para o tratamento de águas residuais, de maneira a valorizar a prática da Engenharia Ambiental no cotidiano escolar e doméstico, promovendo a sustentabilidade, podendo ser funcional para professores e estudantes da educação básica.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver protótipo de sistema *wetland* em laboratório para tratamento de efluente sintético;
- acompanhar a degradação do corante azul de metileno por este sistema;
- validar resultados obtidos com o tratamento de efluente sintético através de protótipo de sistema *wetland* com implementação na educação básica;
- confeccionar paleta de cores para acompanhamento da degradação do azul de metileno;
- potencializar a utilização de recursos da Engenharia Ambiental para a solução de problemas cotidianos;
- favorecer o contato de estudantes de Ensino Fundamental e Médio com a pesquisa científica;
- elaborar ficha técnica de atividade prática para subsídio da ação docente em laboratórios de escolas de Ensino Fundamental e Médio;
- promover a valorização da Educação Ambiental no âmbito escolar;
- criar novos hábitos para a consolidação do comportamento sustentável.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

Os documentos pesquisados e estudados permitiram a apresentação de apontamentos acerca do objeto de estudo: a eficiência dos sistemas *wetlands* construídos, como prática integradora entre Engenharia Ambiental e comunidade escolar.

#### 3.1 SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL: UMA PRÁTICA NECESSÁRIA

Sendo a água a substância mais abundante da superfície da Terra, ela também ocupa a posição de melhor e mais comum solvente disponível na natureza. Em relação à “terra firme” no planeta, a água assume a proporção de área equivalente a 2,42:1, sendo que de toda a água doce líquida, 99,01% são subterrâneas e 0,99% são superficiais. Tem-se ainda, que a água doce líquida, potencialmente utilizável corresponde a 0,007% do total de água do planeta. A água doce disponível é explorada e aproveitada para diversos fins, podendo ser utilizada diretamente no reservatório natural ou extraída e transportada para outros locais, conforme necessidade de utilização, requerendo sempre qualidades específicas de acordo com suas finalidades (FERREIRA e SARON, 2013).

Muitos fatores vêm contribuindo para a diminuição da água, como diminuição de chuvas, o crescimento das cidades e da população que ocupa áreas de mananciais, o uso inadequado da água potável, dentre outros. É fundamental que os recursos hídricos sejam utilizados de forma sustentável, tendo em vista considerar o desenvolvimento sustentável como uma ação que provê as necessidades da geração atual sem comprometimento da possibilidade das futuras gerações proverem suas próprias necessidades (PALMA e SANTOS, 2016).

Na perspectiva da UNESCO (1999), o desenvolvimento sustentável traduz-se naquilo que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras em satisfazer as suas necessidades, de maneira a possibilitar um equilíbrio entre as necessidades ambientais, econômicas e sociais. O progresso, nesse sentido, torna-se proporcional ao rendimento das mentes educadas em matéria de pesquisa, inovação, invenção e adaptação. Sendo assim, a UNESCO (1999) apregoa ser preciso investir em educação como agente de mudança, uma vez que, ela é parte vital de qualquer mobilização que se vá realizar.

A necessidade de se criar um futuro sustentável tornou-se essencial na sociedade. É preciso conter e reverter as transformações negativas decorrentes da exploração desmedida realizada pelo homem ao longo do seu processo de desenvolvimento. A preservação do meio ambiente torna-se, nesse quadro, uma necessidade e cria-se, para contorná-lo, o conceito de desenvolvimento sustentável (SOARES e SANTOS, 2012)

Nessa direção, surge a importância das escolas e do ambiente escolar. Local em que as interações sociais e o ambiente são grandes influenciadores no desenvolvimento da criança e do adolescente (VYGOTSKY, 1984).

Deste ponto de vista, o ambiente escolar age como elemento indutor ao aprendizado, à medida que é capaz de transmitir símbolos, valores e conceitos que possam ser imbuídos e incorporados pelos indivíduos. Além de seu programa pedagógico e sua abordagem, a escola, enquanto ambiente construído, faz parte de um conjunto harmônico que influenciará diretamente na cognição dos indivíduos. A escola torna-se, nesse sentido, um ambiente que pode promover a incorporação do desenvolvimento sustentável. Sendo pertinente a aplicação de técnicas sustentáveis na elaboração e execução do seu projeto, com vistas ao apontamento de técnicas que possam vir a contribuir com a melhoria do ambiente escolar construído em favor da sua sustentabilidade (SOARES e SANTOS, 2012).

A partir do posicionamento que considera a qualidade de vida, as funções dos ecossistemas e o desenvolvimento econômico, dependentes dos volumes de água e de sua disponibilidade, torna-se necessário a criação de cenários confiáveis, que possibilitem implementar políticas consistentes de gestão no futuro. (PALMA e SANTOS, 2016)

De modo que, corroborados pelos estudos de Machado *et. al.* (2022), pela perspectiva pedagógica, o desenvolvimento sustentável traduz-se em tema potencial para a aprendizagem significativa, assumindo caráter transdisciplinar, em que os conteúdos podem ser contextualizados, resultando em maior produção de sentido para o estudante.

### 3.2 POLUIÇÃO HÍDRICA

No Brasil ainda existem locais onde se evidencia a falta de acesso sustentável à água potável e a carência de infraestrutura de saneamento. Fato que coloca a população em situação de risco à saúde individual e coletiva (GEORGIN *et. al.*, 2014).

Serviços de abastecimento de água, coleta e destinação correta de resíduos, tratamento de esgoto e manejo de águas pluviais, evitando alagamentos e a dispersão de doenças de veiculação hídricas são condições básicas para o desenvolvimento da qualidade ambiental e de saúde dos seus habitantes (NASCIMENTO *et. al.*, 2019)

Consoante aos apontamentos de Machado *et. al.* (2022), a escassez dos recursos hídricos no planeta está relacionada à intensa poluição das águas, por detritos de origem doméstica ou industrial, além da má conservação dos mananciais e pelo uso inadequado. Fato que infere na necessidade de realizar mais etapas de tratamento nos efluentes gerados.

De acordo com Projeto Ambiental (2023), efluentes são os resíduos provenientes das indústrias, dos esgotos e das redes pluviais, lançados no meio ambiente em corpos d'água ou na rede pública municipal. Segundo Macedo *et. al.* (2019), a contaminação de corpos hídricos decorrente da contínua emissão de resíduos domésticos e industriais vem ocasionado grandes problemas na sociedade atual. Evidenciando a necessidade de tratamento destes efluentes para a diminuição de impactos ambientais gerados nos meios em que estão inseridos.

Algumas formas de tratamento de efluentes são citadas por Macedo *et. al.* (2019), dentre elas:

- adsorção que funciona pela transferência de uma fase fluida para uma fase sólida conhecida como adsorvente em que um dos materiais mais usados como adsorvente é o carvão ativado;
- coagulação/floculação que consiste na utilização de sais de ferro ou de alumínio para auxiliar na formação de flocos, permitindo que ocorra a sedimentação dos resíduos cujo resultado vai depender do tipo de corante a ser removido, composição, concentração e fluxo;
- eletrocoagulação em que a degradação é realizada eletroliticamente através de uma corrente controlada, ou por reagentes gerados eletroliticamente;
- e processos biológicos que consistem na biodegradação de resíduos, com a utilização de organismos versáteis para esse fim.

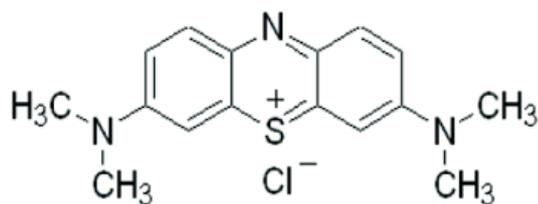
Além disso, de acordo com Oliveira (2016), o uso de corantes e pigmentos, além de vários produtos químicos auxiliares, é um dos maiores responsáveis pela geração de efluentes no setor industrial. O lançamento desses efluentes em ambientes naturais é problemático, tanto para a vida aquática, quanto para os seres humanos.

Oliveira (2016) assinala que a remoção da cor dos efluentes é um dos muitos problemas industriais, das indústrias têxteis, por exemplo. Pois, com o uso de quantidade elevada de água em seus processos industriais é viável que o reuso desta água aconteça após o tratamento adequado. De modo que, novas pesquisas sempre estão sendo realizadas em busca de tratamentos alternativos para obtenção de efluentes tratados com qualidades específicas para o reaproveitamento.

O azul de metileno é um corante muito utilizado na indústria e, consoante aos estudos de Oliveira (2016), trata-se de um corante orgânico de caráter alcalino solúvel em água e produz cátions coloridos em solução. É comumente empregado na produção de papel e outros materiais como poliésteres, algodão e nylons, podendo ser um poluente em potencial de difícil tratamento e, devido a seu caráter catiônico, elevada reatividade e capacidade de reagir com diversos substratos.

Estudos de Morais *et. al.*, 2019 afirmam que o azul de metileno tem sido comumente empregado como composto modelo para testes de adsorção, apresentando massa molar de  $319,8 \text{ g mol}^{-1}$  e comprimento de onda  $665 \text{ nm}$ . Sua estrutura química é apresentada na Figura 1.

**Figura 1 - Estrutura química do corante azul de metileno.**



**Fonte: Morais *et. al.*, 2019**

O desenvolvimento de novas tecnologias para o tratamento descentralizado e de baixo custo traduz-se em alternativa essencial para a melhoria das condições de saneamento à população. O tratamento descentralizado torna-se uma das formas de redução de custos, sendo que pequenas unidades podem atender áreas ou domicílios sem que se necessite demandar grandes obras (NASCIMENTO *et. al.* 2019).

A busca por novas tecnologias, segundo Oliveira (2016), tem evidenciado o uso de materiais renováveis para a remoção e recuperação de efluentes. Sendo a adsorção uma tecnologia que se utiliza de materiais para a remoção de contaminantes de soluções através da sorção, ela aproveita a capacidade de alguns materiais em acumular contaminantes dos efluentes mediante métodos físico-químicos de captura. A adsorção surge como um processo alternativo de tratamento de efluentes com alguns benefícios, como por exemplo, o preço reduzido do material adsorvente.

O uso da vegetação para remediação das águas servidas vem despertando interesse no mundo inteiro, sendo uma das alternativas sustentáveis para o gerenciamento integrado de recursos hídricos de modo a possibilitar a manutenção da qualidade dos mesmos (COSTA, 2004).

A utilização de sistemas descentralizados para tratamento de efluentes constitui uma alternativa para beneficiar o ambiente, sendo que a tecnologia de *wetlands* construídos sinaliza para uma importante opção (SILVEIRA *et. al.*, 2020).

Nesta direção, Laulenschlager (2001) aponta como um exemplo de política consistente de gestão sustentável para o tratamento de efluentes, a implementação de sistemas de *wetlands* construídos. Considerando que os *wetlands* naturais (áreas alagadas) apresentam grande capacidade de alterar a qualidade das águas que por eles passam, através da ação de diversos mecanismos físicos, químicos e biológicos, argumenta que os *wetlands* construídos têm sido introduzidos de maneira artificial, como uma forma de tratamento de águas poluídas trazendo eficientes resultados.

Assim, a remoção de poluentes em sistemas *wetlands* construídos ocorre a partir da interação entre sedimentos, meio de suporte, microrganismos, plantas, atmosfera e a água residuária, de maneira que sua eficiência depende de variáveis presentes no processo de remoção de alguns poluentes (PALMA e SANTOS, 2016).

### 3.3 SISTEMAS *WETLANDS* CONSTRUÍDOS: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL

Ao considerar que a maior parte da água potável, após ser utilizada nas atividades domésticas e industriais, é descartada sem tratamento nos cursos d'água; e que essa água descartada faz com que resíduos prejudiciais estejam presentes no meio hídrico, a utilização dos sistemas *wetlands* podem possibilitar o tratamento de tais águas residuárias. Os sistemas *wetlands* são artificialmente projetados para utilizar plantas (macrófitas) que podem estar sustentadas ou não em substratos

(como areia, solo ou brita), cujas raízes possibilitam a formação de biofilme que agrega populações variadas de microorganismos que, por meio de processos biológicos, químicos e físicos, possibilitam tal tratamento (LIMA *et.al.*, 2017).

Por definição, Anjos (2003) apresenta os sistemas *wetlands* como uma área de terra que é naturalmente molhada. O termo é utilizado para definir um ambiente de ecossistema úmido, que popularmente pode ser caracterizado de nomes diferentes como, banhados, zonas alagadiças, pântanos, brejos, manguezais, charcos e veredas. Trata-se de locais propensos à inundações intermitentes ou permanentes, de maneira que o solo da região afetada apresenta-se sempre saturado.

Nessa perspectiva, *wetland* é o termo utilizado para caracterização dos ecossistemas que ficam parcial ou totalmente inundados durante algum período de tempo no ano. As características e as propriedades desses ecossistemas variam grandemente, dependendo da geologia, da geomorfologia dos solos e também das condições climáticas da área em que ocorrem (SALATI, 2010 *apud* ÁVILA, 2018).

A relevância dos *wetlands* nos ecossistemas onde estão inseridos pode ser considerada de acordo com: potencial de regularização dos fluxos de água, amortecimento de picos de enchentes, capacidade de modificar e controlar a qualidade das águas, reprodução e alimentação da fauna aquática, proteção à biodiversidade e controle da erosão (WELSCH *et. al.*, 1995 *apud* ÁVILA, 2018).

Assim, os *wetlands* podem ser considerados como um dos maiores sistemas naturais com grande produtividade na terra, e que são de extrema importância para preservação da biodiversidade do planeta, dentre estes sistemas podemos citar o pantanal matogrossense, os igarapés no rio Amazonas e os manguezais na faixa do litoral brasileiro (ANJOS, 2003).

Segundo Welsch *et. al.* (1995) *apud* Ávila (2018), há que se considerar alguns fatores para se caracterizar o ambiente típico de área alagada: ser habitat periodicamente e predominantemente de espécies hidrófitas; ter solo hegemonicamente mal drenado; sendo que ao decorrer do crescimento das plantas o solo deve permanecer saturado ou inundado. São esses fatores que determinam o tipo de plantas que poderão se desenvolver nesses locais.

Através do fluxo contínuo de águas advindas de regiões mais altas os *wetlands* naturais recebem, retém e reciclam nutrientes, os transformando de formas inorgânicas em material orgânico indispensável à vida de animais presentes nesses sistemas, os processos biogeoquímicos admitidos em tal conversão são de natureza

físico-química e biológica, são influenciados por populações microbianas aeróbias, anaeróbias e facultativas, portanto, em áreas alagadas verifica-se um número de processos mais elevado em comparação a outros ecossistemas (WELSCH *et.al.*, 1995 *apud* ÁVILA, 2018).

Os sistemas *wetlands* construídos assemelham-se aos *wetlands* naturais, constituindo projetos com diferentes meios filtrantes, plantas e microrganismos que viabilizam o tratamento de efluentes domésticos e/ou industriais, em que mostram sua eficiência. A técnica utilizada para construção de *wetlands* se iniciou em meados da década de 70 impulsionado pelo movimento ambientalista, com a finalidade de produção de habitats e controle de qualidade de água de forma mais barata.

Os *wetlands* construídos se comportam com as mesmas características positivas de uma zona úmida, e seus efeitos negativos podem ser facilmente controlados de forma que torna este sistema de baixo custo e eficiente (LAURIUCHI, 2021).

Deste modo, os sistemas *wetlands* podem ser construídos em diferentes locais, com a observância da vazão do sistema, das condições climáticas e também das restrições das espécies vegetais escolhidas. Segundo Silva (2007), há um interesse nesse tipo de sistema, pelo motivo da grande capacidade de nitrificação que se verifica a partir do tempo de detenção hidráulica verificado. O que contribui com o estabelecimento de condições aeróbias pela alternância entre as fases de alimentação, e isto é, fundamental para evitar o crescimento de biomassa no material filtrante dos *wetlands*.

O sistema de *wetland* construído é caracterizado por possuir, um tanque com dimensões previamente projetadas, substratos ou meio suporte além de plantas aquáticas vasculares. Esses componentes podem ser escolhidos e definidos dentre inúmeras opções a fim de otimizar o desenvolvimento de um consórcio de microrganismos e invertebrados aquáticos naturalmente adaptados ao ambiente local, possuindo assim ampla capacidade sistêmica de incorporação e transformação por processos bioquímicos de muitos nutrientes contidos e associados a matéria orgânica presente em elevadas concentrações nestes efluentes. Os sistemas *wetlands* construídos podem ser projetados com dois diferentes fluxos; fluxo vertical ou fluxo horizontal (BROTA, 2018).

Nos sistemas *wetlands* construídos de fluxo vertical a alimentação dos leitos é verticalmente intermitente, tendo na maioria das vezes como meio suporte, brita e

areia. O efluente é espalhado por um encanamento perfurando em todo seu comprimento, para que ocorra a distribuição vertical ao longo do leito, assim, o tratamento funciona mediante a infiltração vagarosa no meio filtrante, até alcançar o fundo do leito, onde deve haver tubulações de drenagem. O sentido do fluxo tanto pode ser ascendente quanto descendente, sendo que especialistas recomendam o sentido descendente, pois, o crescimento das plantas envolvidas no processo ocorre nas primeiras camadas do sistema. O projeto se torna mais eficiente devido às raízes e microrganismos rizosféricos, que absorvem nutrientes do efluente (LAURIUCHI, 2021).

Esse sistema é característico por ter escoamento de maneira vertical, onde o nível da água fica abaixo do meio de suporte. O meio de suporte é o que proporciona sustentação na base para o plantio de vegetação (ORMONDE, 2012 *apud* MORAES, 2017). O meio suporte pode ser composto por brita, solos com baixo teor de argila, alta permeabilidade, alta capacidade de troca catiônica e alta atividade microbiológica (LIMA, 2016 *apud* MORAES, 2017).

Os sistemas *wetlands* construídos de fluxo horizontal são também de fluxo superficial e subsuperficial. O subsuperficial faz com que o efluente a ser tratado permaneça abaixo da superfície, evitando maus odores, exposição do efluente para o contato de humanos e animais e proliferação de vetores. (ZANELLA, NOUR e ROSTON *apud* MORAES, 2017).

Segundo Marques (1999) *apud* Lima *et. al.* (2017), a vegetação implantada nos tanques construídos funciona como extratora de macro e micronutrientes necessários ao seu crescimento. Ainda transfere oxigênio para o substrato, e permite a formação de sítios aeróbios em torno de rizomas e raízes. Favorecem também o desenvolvimento dos filmes biologicamente ativos que propiciam a degradação dos compostos orgânicos, depurados no meio.

Já em relação ao custo-benefício, os sistemas *wetlands* surgem como exemplos de tecnologia limpa, barata e sustentável e mesmo que demandem certo custo inicial, os benefícios são constatados ao decorrer do processo, prolongando-se a longo prazo de uso (NASCIMENTO *et. al.*, 2019).

A melhora do ambiente construído vai muito além da adoção de técnicas sustentáveis ou que contribuam para o conforto ambiental. Deve também contribuir para uma boa percepção do usuário e o bom desenvolvimento de suas atividades dentro do mesmo, no caso, da escola (SOARES E SANTOS, 2012).

Estudos de Andrade (2012) evidenciam que as plantas que compõem os *wetlands* são responsáveis por boa parte do funcionamento do sistema, por meio da utilização de nutrientes presentes no efluente, auxílio na fixação de biofilme em suas raízes, filtração física pelas raízes e aeração.

Os sistemas *wetlands* tornam-se uma opção viável no tratamento de esgoto doméstico e outros tipos de águas residuais, devido à sua natureza simples, fácil operação e rentabilidade técnico-econômica (COSTA, 2004).

Consoante aos estudos de Lima (2016) o sistema *wetland* construído permite que o tratamento de águas residuárias ocorra com o desenvolvimento dos processos de sedimentação, filtração, digestão, oxidação, redução, adsorção e precipitação, os quais ocorrem sequencialmente com o movimento das águas residuárias através dos sistemas. Os poluentes e compostos vão sendo aderidos ao meio filtrante ou às plantas e microrganismos presentes no sistema.

As plantas cultivadas em tanques adsorvem sólidos suspensos, metais e patógenos. Além disso, promovem abrigo para o crescimento de microrganismos e servem de cobertura para sombreamento na água prevenindo a proliferação de algas (COSTA, 2004).

Algumas desvantagens dos sistemas *wetlands* configuram-se, segundo Pereira *et. al.* (2022) na necessidade de manejo das macrófitas, nos longos períodos para a adaptação das plantas no leito e no suscetível risco à proliferação de vetores, quando de fluxo superficial. Por outro lado, as vantagens se intensificam. Dentre elas, custos reduzidos de operação e implantação; utilização de requisitos energéticos praticamente inexistente; apresenta facilidade operacional e independência química; eficiência satisfatória de remoção de matéria orgânica, sólidos e nutrientes e também promove harmonia paisagística. Sendo que as desvantagens podem se minimizam ao passo que os sistemas *wetlands* tornam-se autossustentáveis e se integram de forma não agressiva ao ambiente.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

As etapas do estudo são apresentadas a seguir, com a explanação do processo, desde a confecção dos protótipos até a testagem experimental.

### 4.1 APRESENTAÇÃO DO PROJETO DE PESQUISA À DIREÇÃO DA ESCOLA

Em visita pré-agendada, ocorreu o encontro entre a pesquisadora e a direção da escola, para a apresentação do projeto de pesquisa e apreciação da equipe de gestão sobre a viabilidade da pesquisa para o ambiente escolar.

Houve a apresentação do objetivo, evidenciando a inserção das técnicas de Engenharia Ambiental para o cotidiano escolar, com a solução de problemáticas pontuais, as quais podem ser abordadas durante todo o trabalho.

A apresentação do projeto contou com a receptividade da equipe diretiva do Colégio Estadual Abraham Lincoln, que autorizou a utilização do espaço escolar para o desenvolvimento da pesquisa.

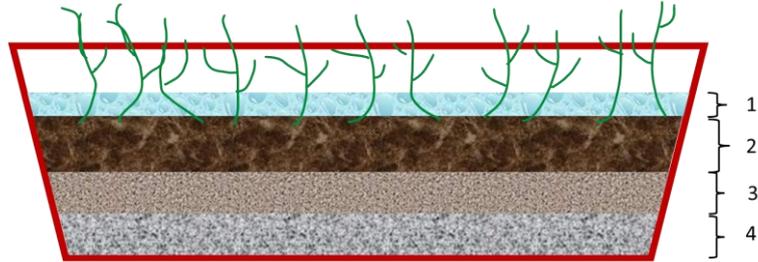
### 4.2 PROTÓTIPO DE SISTEMAS *WETLANDS* CONSTRUÍDOS EM LABORATÓRIO

Os protótipos de sistemas *wetlands* foram confeccionados no laboratório biofísico-químico do colégio, com a utilização de material alternativo - floreiras plásticas, mangueira plástica, fita adesiva branca (fita crepe), pedra brita, areia, terra, galão plástico e água.

Para a construção dos protótipos utilizou-se cinco recipientes adaptados de floreiras para jardinagem, de material plástico com dimensões: 42cm (comp.) x 15cm (larg) x 15 cm (alt.); com volume útil de 8 litros. Também foram utilizados pedaços de 15cm de mangueira plástica flexível de 5 mm e fita adesiva branca para vedar a saída lateral de efluente tratado em cada protótipo.

Orientando-se pelos estudos de Silveira *et. al.* (2020), o substrato utilizado para a composição dos protótipos dos sistemas *wetlands* construídos, conforme apresentado na Figura 2 a partir do fundo, foi: pedra brita 0 peneirada (camada 4); areia fina lavada (camada 3) e solo argiloso peneirado (camada 2) para amparar e sustentar as macrófitas.

**Figura 2 - Esquema representativo do protótipo de *wetlands* a ser utilizado nos experimentos para degradação de efluentes, evidenciando camadas: 4 – pedra brita; 3 – areia; 2 – solo; 1 – água.**



Fonte: autoria própria (2021)

Foram feitas marcações na parte interna das floreiras para delimitar a altura de cada camada do substrato, sendo a altura para a camada de pedra brita 2,5 cm; para a areia lavada 2 cm e para o solo 5,5 cm. A Figura 3 mostra o trabalho com as medições.

**Figura 3 - Delimitação da altura das camadas do substrato no espaço interno da floreira.**



Fonte: autoria própria (2022)

Seguindo estudos de Ferreira e Saron (2013), o protótipo foi construído de modo a permitir que o efluente sintético de azul de metileno a ser tratado pelo sistema *wetland* seja introduzido pela parte superior (camada 2, Figura 4) e coletado na parte inferior dos mesmos (camada 4, Figura 4).

A montagem dos sistemas deu-se desta forma: a camada 4, com pedra brita, foi acomodada ao fundo da floreira. Em seguida, colocou-se a areia lavada na camada 3. E, por fim, na camada 2, o solo argiloso para a sustentação da vegetação a ser plantada nas unidades experimentais, conforme Figura 4.

**Figura 4 - Montagem dos protótipos - identificação das camadas do substrato (4 – pedra brita; – areia; 2 – solo).**

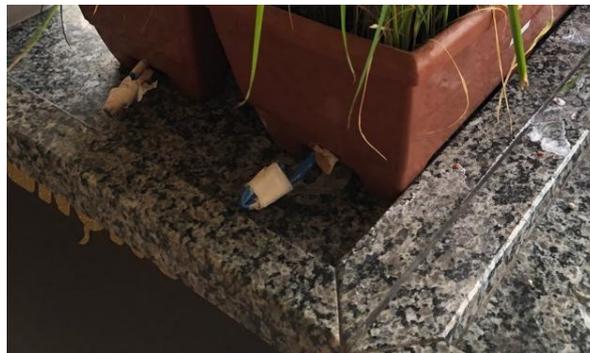


Fonte: autoria própria (2022)

O material plástico das floreiras impede a visualização das camadas em sua estratificação. Porém, as mesmas foram montadas obedecendo, rigorosamente, a ordem disposta na Figura 4.

Após a constituição das camadas, foi colocada a mangueira flexível na saída lateral inferior de cada unidade experimental, com 15 cm de comprimento e espessura de 5mm. Utilizou-se a mangueira flexível para que, ao ser dobrada, impeça a saída da amostra e também da água utilizada para a irrigação das plantas, fixando esta dobra com fita adesiva, conforme mostra a Figura 5.

**Figura 5 - Mangueira flexível na saída lateral inferior da unidade experimental.**



Fonte: autoria própria (2022)

O efluente utilizado no experimento foi o efluente sintético de azul de metileno, com preparo de solução à concentração 0,5g/L. O canal de entrada para a amostra foi colocado na parte superior da floreira, com fixação superficial, podendo ocorrer por fluxo contínuo ou por regime semi-batelada. A válvula instalada na parte inferior do protótipo permitiu o controle de saída da amostra, já tratada pelo sistema *wetland* construído.

### 4.3 - BUSCA DE VEGETAÇÃO PARA COMPOR OS PROTÓTIPOS

A escolha da vegetação, para composição dos protótipos, ocorreu com a coleta de macrófitas regionais nos lagos do Parque Urbano Municipal de Kaloré, os quais podem ser visualizados na Figura 6. Para a escolha, considerou-se características favoráveis ao crescimento rápido e desenvolvimento em condições de alta umidade, conforme o clima da região.

**Figura 6 - Fotos dos Lagos do Parque Urbano Municipal de Kaloré.**

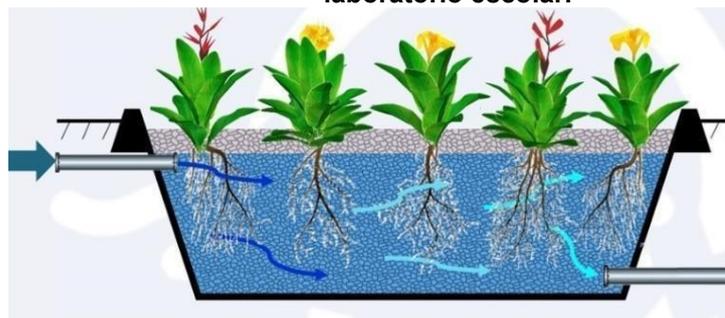


Fonte: autoria própria (2021)

### 4.4 TESTES DE DESCOLORAÇÃO DO EFLUENTE SINTÉTICO DE AZUL DE METILENO

Após a montagem dos protótipos e aclimação das plantas, preparou-se a solução de azul de metileno e água, com concentração de 0,5g/L, que deu origem ao efluente sintético de azul de metileno para tratamento nos sistemas *wetlands* construídos. Na Figura 7 está apresentada a entrada do fluxo do efluente no sistema a ser montado.

**Figura 7 - Protótipo de sistema de *wetland* de fluxo horizontal a ser desenvolvido em laboratório escolar.**



Fonte: Rotária do Brasil, 2021

Este é um esboço dos protótipos desenvolvidos neste estudo, onde se identifica o local de entrada da amostra do efluente por fluxo horizontal, passando pelas macrófitas e substratos, até o fim do processo, em que a água é escoada pela saída lateral inferior.

Os testes realizados terão a introdução do efluente no sistema em regime semi-batelada, conforme Figura 8 e Figura 9.

**Figura 8 - Sistema de entrada de efluente de azul de metileno (semi-batelada) em protótipo contendo vegetação.**



Fonte: autoria própria (2022)

**Figura 9 - Sistema de entrada de efluente de azul de metileno (semi-batelada) em protótipo com ausência de vegetação.**



Fonte: autoria própria (2022)

Para a introdução de efluente sintético de azul de metileno por fluxo contínuo, adaptou-se um sistema com a utilização de galão plástico, com torneira de controle de vazão, ligada à mangueira plástica flexível para acesso ao protótipo. Como pode ser observado nas Figuras 10 e 11.

**Figura 10 - Sistema de entrada de efluente de azul de metileno (fluxo contínuo) em protótipo contendo vegetação.**



Fonte: autoria própria (2022)

**Figura 11 - Sistema de entrada de efluente de azul de metileno (fluxo contínuo) em protótipo com ausência de vegetação.**



Fonte: autoria própria (2022)

#### 4.5 ACOMPANHAMENTO DE RESULTADOS

A verificação da eficácia do tratamento ocorrerá com o acompanhamento da redução de cor do efluente. A redução será acompanhada por espectroscopia UV-Vis, no comprimento de onda máximo a ser encontrado na varredura da solução. Para a verificação será utilizado o Espectrofotômetro Visível – Bel UV-M51 UV-Visível 190 a 1.000 nm, disponível no laboratório GETECA – UTFPR – campus Apucarana, apresentado na Figura 12.

**Figura 12 - Espectrofotômetro visível.**



**Fonte: autoria própria (2023)**

O acompanhamento de alunos e professores da educação básica poderá ocorrer pela comparação de cores a partir de uma paleta de cores composta por fotos de soluções com concentrações conhecidas.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 MACRÓFITAS TESTADAS

Com o plantio das macrófitas nos protótipos, conforme estudos de Marques (1999), objetivou-se que a presença de vegetação implantada contribuísse com a formação e desenvolvimento de biofilme filtrante para atuação na degradação da matéria residual da solução testada. Para que as plantas aumentem a área de contato e aderência do biofilme por meio das raízes, caules e rizomas; transportando oxigênio, favorecendo a existência de condições aeróbicas dentro do sistema, buscou-se encontrar a macrófita ideal. Esta busca considerou condições climáticas da região e a adaptação das espécies escolhidas em habitat alagado, sem fluxo de água corrente. Algumas tentativas se sucederam. Foi necessário buscar diversas alternativas para o plantio ou transplante de vegetação, consoante aos resultados que foram sendo obtidos em cada tentativa.

A partir dos diferentes resultados e insucessos, novas alternativas testadas permitiram encontrar a vegetação que correspondesse aos objetivos do trabalho.

#### 5.1.1 Aguapé alface d'água

A coleta inicial deu-se no lago municipal de Kaloré – PR, em que as amostras da espécie *Pistia stratiotes* L., um aguapé popularmente conhecido como alface d'água foram retiradas em seu habitat natural (Figura 13) para serem transplantadas nos protótipos. Na Figura 14 observa-se as mudas já coletadas para o transplante.

**Figura 13 - Habitat natural de aguapés (alface d'água).**



**Fonte: autoria própria (2022)**

**Figura 14 - Aguapés coletados para transplante em protótipo.**



**Fonte: autoria própria (2022)**

A partir desta coleta de “alface d’água”, houve o transplante nos vasos previamente preparados, constituindo-se nas unidades experimentais - protótipos deste estudo. As plantas foram acomodadas, de maneira a permanecerem permeadas com água, na tentativa de reproduzir o seu *habitat* natural, conforme Figura 15.

**Figura 15 - Mudas de alface d’água transplantadas na unidade experimental.**



**Fonte: autoria própria (2022)**

No entanto, após treze dias de cuidados diários, a população de aguapés apresentou aspectos diferentes. As folhas começaram a amarelar e murchar, até que a plantação foi perdida. Pontua-se que a não evolução destas plantas pode ter sido justificada por estarem em ambiente restrito e limitado de água, uma vez que no *habitat* natural, se desenvolvem na presença de água corrente.

### 5.1.2 Aguapé lentilha d'água

A partir do insucesso do primeiro plantio, buscou-se outras espécies vegetais, e coletou-se no córrego aos arredores do lago municipal de Kaloré (Figura 16) a aguapé *Lemma turionífera*, comumente chamada de lentilha d'água,

**Figura 16 - Aguapé (lentilha d'água).**



**Fonte: Vegazeta (2019)**

A Figura 17 mostra a “lentilha d'água”, em seu habitat natural, no córrego que circunda o lago urbano municipal de Kaloré.

**Figura 17 - Lentilha d'água em seu habitat natural.**



**Fonte: autoria própria (2022)**

Verificou-se, em menos de uma semana, aspectos de não adaptação da planta ao ambiente do protótipo. As plantas murcharam e secaram. Uma observação pertinente para o insucesso pode estar associada ao fato de que a planta sendo retirada de um córrego, deve estar adaptada em fluxo de água corrente e que, ao ser colocada no protótipo, não se adaptou.

### 5.1.3 - Taboa

Na terceira tentativa, optou-se pela busca de sementes de “taboa”, uma planta aquática, herbácea, rizomatosa e perene, que apresenta longa folhagem, com espigas que acomodam as sementes, sendo frequente planta marginal em áreas alagadas, pantanosas, úmidas, restingas e mangues, onde toleram até 1,5 m de inundação. (PATRO, 2022) A Figura 18 ilustra uma plantação de taboa.

**Figura 18 - Plantação de taboa.**



**Fonte: Silva (2019)**

As sementes de *Typha domingensis* (taboa) - Figura 19, foram adquiridas através de mercado *on-line* e serviram ao plantio nos protótipos, com o intuito de formar a vegetação alagada.

**Figura 19 - Sementes de taboa adquiridas para plantio nas unidades experimentais.**



**Fonte: autoria própria (2022)**

Houve o plantio das sementes, porém o brotamento não aconteceu.

#### 5.1.4 Arroz das águas

A quarta tentativa ocorreu com o plantio de sementes de *Oryza sativa* - o arroz das águas. O arroz das águas foi uma opção devido às características estruturais que apresenta, como: formato de raízes e também pelo habitat alagadiço que o mantém. A Figura 20 ilustra a plantação de arroz das águas.

**Figura 20 - Plantação de arroz das águas em ambiente alagadiço.**



**Fonte: Portal Brasil (2015)**

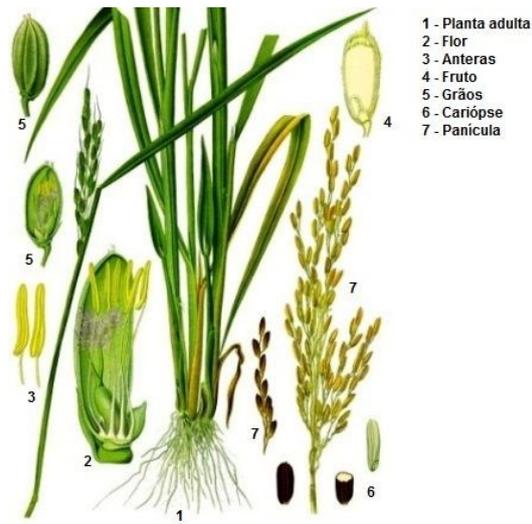
É uma planta herbácea adaptada ao ambiente aquático. De acordo com Nunes (2021) tal adaptação deve-se à presença de aerênquima no colmo e nas raízes da planta, que possibilita a passagem de oxigênio do ar para a camada da rizosfera. De modo que a cultura do arroz requer temperatura ao redor de 24 a 30°C e radiação solar elevada, podendo ser cultivada em solo inundado.

Nunes (2021) salienta que o ciclo de desenvolvimento do arroz cultivado em sistema inundado pode variar entre 100 e 140 dias para a maioria das cultivares, do plantio até a colheita. Ocorrendo, geralmente, em planícies alagadas que podem continuar inundadas, mesmo durante o período de crescimento do vegetal.

O sistema radicular da planta é constituído por numerosas raízes fibrosas, longas e finas que permitem sua rápida fixação no solo. Até frutificar, a planta emite novas raízes que, ao se ramificarem, aumentam a capacidade de absorção de nutrientes (NUNES, 2021). Característica muito importante para a participação desta espécie no protótipo.

A Figura 21 apresenta as características desta planta, em que algumas foram consideradas viáveis para a constituição dos protótipos em estudo.

**Figura 21 - Características botânicas das plantas de *Oryza sativa*.**



**Fonte: Nunes (2021)**

As sementes de arroz foram conseguidas, ainda em cachos, com um agricultor do município de Kaloré, conforme Figura 22.

**Figura 22 - Sementes de arroz em cachos.**



**Fonte: autoria própria (2022)**

## 5.2 PLANTIO DO ARROZ DAS ÁGUAS

O plantio das sementes de arroz das águas nos protótipos ocorreu com semeadura irregular, em que as sementes foram distribuídas na superfície do solo do protótipo, como mostra a Figura 23. Este plantio aconteceu no dia 06 de maio, no laboratório bio-físico-químico do Colégio Estadual Abraham Lincoln de Kaloré, em quatro dos cinco protótipos preparados. Sendo que um deles foi deixado apenas com

o substrato, sem o plantio de sementes. Encerrada a semeadura, ocorreu a irrigação do protótipo, colocando cerca de 500 ml de água de torneira.

**Figura 23 - Unidades experimentais com a semeadura do arroz das águas.**



**Fonte: autoria própria (2022)**

A partir daí, em caráter experimental, foi se alinhando a quantidade de água necessária para o canteiro a cada dia. Concluindo-se que a medida ideal de água para irrigar o protótipo é 250ml, duas vezes ao dia.

#### 5.2.1 Brotamento e acompanhamento do crescimento do arroz das águas

Após 04 dias da semeadura, observou-se o brotamento, que se apresentou mais abundante em alguns vasos do que em outros, devido ao espalhamento irregular das sementes, conforme na Figura 24.

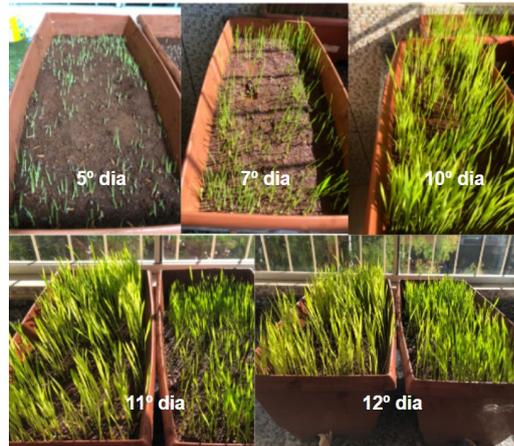
**Figura 24 - Brotamento das sementes de arroz das águas.**



**Fonte: autoria própria (2022)**

O crescimento passou a ser acompanhado diariamente. As imagens que compõem a Figura 25 demonstram o crescimento, identificando o dia de acompanhamento.

**Figura 25 - Acompanhamento do crescimento das plantas de arroz das águas – 5 a 12 dias após a semeadura.**



**Fonte: autoria própria (2022)**

Após 14 dias, verificou-se uma baixa na temperatura ambiente que chegou a atingir 4°C. Não se sabe se, por esta razão ou se, por estar sendo cultivado em ambiente fechado (dentro do laboratório), algumas das plantas começaram a apresentar cor amarelada, mais evidentes em dois vasos, especificamente, conforme Figura 26. Estes vasos que desenvolveram tal característica, foram os que tiveram menor população de plantas, uma vez que a quantidade de sementes na semeadura foi aleatória em cada floreira.

**Figura 26 - Plantas de arroz das águas apresentando cor amarelada.**



**Fonte: autoria própria (2022)**

Em contato com engenheiro agrônomo, houve a orientação de aplicação de nitrogênio, para combater a cor amarelada nas plantas de arroz. Seguindo a orientação, quando a plantação já estava com 20 dias, aplicou-se em todos os canteiros, uma colher de chá de ureia, tomando o cuidado de depositá-la manualmente, diretamente no solo, grânulo a grânulo para que não houvesse contato com a folhagem, evitando queimaduras nas mesmas. A Figura 27 mostra um dos protótipos após a aplicação da ureia. Com tal correção do solo, foi perceptível a evolução da plantação.

**Figura 27 - Unidade experimental com aplicação manual de ureia.**



Fonte: autoria própria (2022)

O acompanhamento diário teve continuidade, com irrigação adequada e exposição ao sol. As plantas foram evoluindo e aumentando de tamanho (folhas e raízes). A Figura 28 apresenta esta evolução até 60 dias após a semeadura.

**Figura 28 - Acompanhamento do crescimento das plantas de arroz das águas 46 a 60 dias após a semeadura.**



Fonte: autoria própria (2022)

### 5.3 VALIDAÇÃO DO PROTÓTIPO

#### 5.3.1 Teste 1: Protótipo com vegetação – regime semi-batelada

A experimentação ocorreu no laboratório biofísico-químico do Colégio Estadual Abraham Lincoln. Utilizou-se, inicialmente, a solução de azul de metileno na concentração 0,5g/l, a qual foi introduzida no sistema, em regime semi-batelada, na quantidade de 250ml. O protótipo utilizado foi o de maior população de indivíduos arroz das águas, conforme Figura 29.

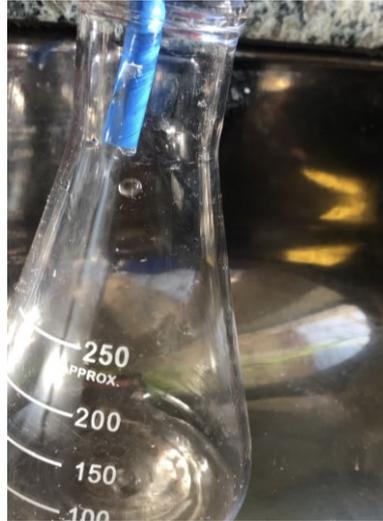
**Figura 29 - Introdução de efluente sintético de azul de metileno em regime semi-batelada.**



Fonte: autoria própria (2022)

Com a introdução da solução de azul de metileno no protótipo, a mangueira flexível localizada ao fundo do protótipo foi aberta. Houve a remoção da fita adesiva que fixava a mangueira dobrada, permitindo a saída da amostra resultante. Após 12 minutos da introdução da solução, as primeiras gotas da amostra começaram a sair pela mangueira flexível, na parte inferior do protótipo, como pode ser observado nas Figuras 30 e 31.

**Figura 30 - Coleta de amostra resultante do processo de tratamento de efluente.**



**Fonte: autoria própria (2022)**

**Figura 31 - Tratamento de efluente sintético de azul de metileno através de protótipo de sistema *wetland* construído.**



**Fonte: autoria própria (2022)**

A amostra resultante foi coletada em erlenmeyer e acumulou, aproximadamente, 180 mL de solução tratada.

Na Figura 32, observa-se a solução inicial (a), com efluente sintético de azul de metileno, à concentração de 0,5g/L (bequer) e a solução resultante (b) após o tratamento no sistema *wetland* construído. Percebe-se que a solução obtida após o tratamento apresentou-se como um líquido transparente, contendo alguns resíduos de areia ao fundo (b).

**Figura 32 - Solução inicial de azul de metileno (a) e amostra resultante (b) após o tratamento via sistema *wetland* construído em protótipo.**



Fonte: autoria própria (2022)

Durante a testagem, parte do corante azul de metileno foi retido pelas raízes das plantas arroz das águas, que ao final do experimento, retirada do substrato, apresentou coloração azul, conforme mostra a Figura 33.

**Figura 33 - Raiz de arroz das águas, após participação como macrófita no sistema *wetland* construído, no tratamento de efluente sintético de azul de metileno.**



Fonte: autoria própria (2022)

A testagem apontou que as raízes das plantas de arroz das águas realizaram função efetiva no tratamento do efluente sintético de azul de metileno, adsorvendo parcialmente o corante. Considera-se positivo o resultado obtido, em que se

constatou, visualmente, uma notável diferença entre as cores da solução inicial antes do tratamento e da solução final após o mesmo.

Testagens mais específicas, como a varredura por espectroscopia UV-Vis, no comprimento de onda máximo não foram executadas neste experimento, para que o mesmo fosse exequível com as condições reais de laboratórios de escolas da educação básica.

Considerando o objetivo deste estudo, como sendo a aproximação de estudantes e professores da educação básica com as vantagens da aplicação de técnicas de Engenharia Ambiental, os resultados obtidos contribuíram para o alcance do mesmo. Pois, a partir deste experimento, verificou-se a viabilidade do experimento para a representação positiva do processo de tratamento de efluente sintético de azul de metileno com o uso de sistemas *wetlands* construídos. A mudança de cor da amostra tratada, comparada à amostra inicial introduzida no sistema corrobora, de maneira didática a conclusão positiva constatada.

Tais fatos favorecem a utilização da Engenharia Ambiental na educação básica, estimulando professores a fazer uso de suas técnicas junto aos estudantes, promovendo a construção de conhecimentos que podem ser colocados em prática no cotidiano escolar e também doméstico, a fim de solucionar problemas ambientais do dia a dia e ainda, impulsionar a conquista da sustentabilidade dos ambientes.

### 5.3.2 Teste 2: Protótipo controle – regime semi-batelada

Os cinco protótipos preparados (quatro com as plantações de arroz das águas e o protótipo controle com ausência de macrófitas) foram transportados do laboratório biofísico químico do Colégio Estadual Abraham Lincoln de Kaloré para o Laboratório GETECA - Grupo de Estudos de Tecnologias Ambientais, na UTFPR, campus Apucarana (Figura 34).

**Figura 34 - Transporte de protótipos: Kaloré-Apucarana.**



**Fonte: autoria própria (2022)**

No laboratório GETECA, na UTFPR, as unidades experimentais foram acomodadas à espera das testagens (Figura 35)

**Figura 35 - Protótipos de sistemas *wetlands* construídos acomodados no laboratório GETECA na UTFPR - campus Apucarana.**



**Fonte: autoria própria (2022)**

A partir do protótipo controle, preparado apenas com as camadas do substrato, com ausência de vegetação, iniciou-se a testagem. A solução de azul de metileno, com concentração de 0,5g/L, foi depositada no protótipo, na quantidade de 250mL em intervalos de tempo regulares de 1,5 minuto (Figura 36).

**Figura 36. Introdução de efluente sintético de azul de metileno, em batelada, no sistema *wetland* construído com ausência de vegetação.**



**Fonte: autoria própria (2022)**

Após 6 minutos, o volume acumulado da solução no interior do protótipo foi 1000mL. Ao final deste tempo ocorreu o início do gotejamento pela mangueira flexível instalada na parte inferior do protótipo, como saída lateral, como se vê na Figura 37.

**Figura 37 - Coleta de amostra resultante do processo de tratamento de efluente (protótipo sem vegetação).**

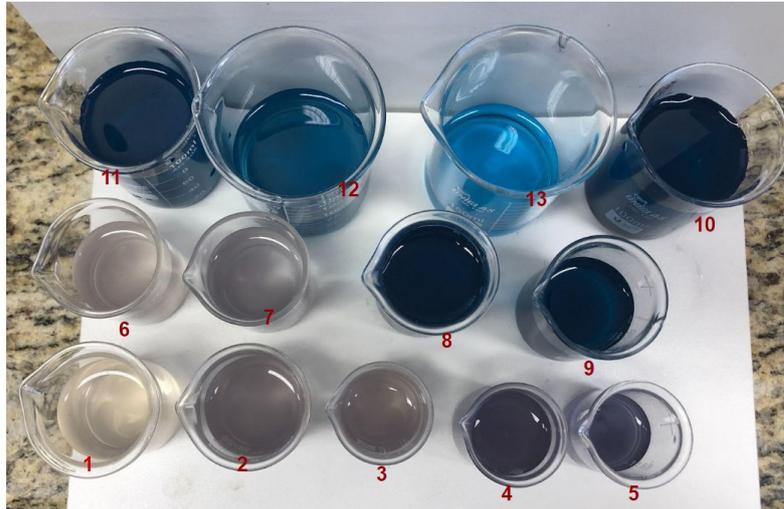


**Fonte: autoria própria (2022)**

Na sequência, a quantidade de 250mL da solução de azul de metileno continuou a ser introduzida no protótipo, em novos intervalos regulares de 5 minutos. Também as novas amostras tratadas resultantes passaram a ser coletadas pela saída lateral a cada 5 minutos.

Foram obtidas amostras resultantes variadas, que evidenciaram mudanças de cor, conforme se visualiza na Figura 38. Esta variação de coloração das amostras tratadas resultantes evidenciam as diferentes tonalidades de azul entre elas.

**Figura 38 - Amostras resultantes do processo de tratamento de efluente sintético de azul de metileno em protótipo sem vegetação (vista superior) numeradas em ordem de 1 a 13, identificando a coleta ocorrida com intervalos de 5 minutos.**



**Fonte: autoria própria (2022)**

A Tabela 1 evidencia dados que relacionam a quantidade de solução contida e acumulada no protótipo, em intervalos regulares de 5 minutos, a partir da primeira coleta. Verificando que apenas após 6 minutos, o sistema iniciou o gotejamento das amostras resultantes, permitindo a primeira coleta. A partir da análise dos dados contidos na Tabela 1 é possível comparar a amostra identificada numericamente com as imagens da Figuras 38 apresentadas anteriormente, associando o tempo em que cada uma foi coletada, com a cor resultante obtida.

**Tabela 1 - Relação entre a quantidade de efluente e o intervalo de tempo para a coleta das amostras realizada em protótipo com ausência de macrófitas sob regime batelada.**

Tempo (minutos)	Volume acumulado (ml) de efluente sintético – Regime semi batelada	Ordem numérica de obtenção da amostra resultante
0	0	-
1,5	250	-
3	500	-
4,5	750	-
6	1000	1
11	1250	2
16	1500	3
21	1750	4
26	2000	5
31	2250	6
36	2500	7
41	2750	8
46	3000	9
51	3250	10
56	3500	11
61	3750	12
66	4000	13

**Fonte: autoria própria (2023)**

O teste levou à seguinte verificação: quando o protótipo está preparado apenas com substrato, com ausência da vegetação arroz das águas, a introdução do efluente sintético de azul de metileno para tratamento no sistema, resulta em amostras coloridas. A presença visível da cor é observada em diferentes concentrações em cada amostra resultante. As constatações indicam que o substrato se configurou como meio filtrante. Porém, as amostras resultantes ainda apresentaram a presença visível do corante após o tratamento realizado.

### 5.3.3 Teste 3: Protótipo com vegetação – fluxo contínuo

Este teste utilizou o protótipo com maior população da vegetação arroz das águas. Ocorreu por fluxo contínuo a partir da introdução de efluente sintético de azul de metileno, à concentração 0,5g/L, pelo sistema de vazão contínua. O sistema foi adaptado com o uso de galão plástico de 5L, com saída inferior usando mangueira plástica flexível, com torneira plástica reguladora da vazão. O galão foi suspenso para liberar a solução dentro do protótipo para o tratamento, conforme apresentado na Figura 39, configurando uma vazão de aproximadamente 0,8ml/s, com um total de 250mL a cada 5 minutos.

**Figura 39 - Sistema de fluxo contínuo adaptado para introdução de efluente sintético de azul de metileno em protótipo com vegetação de sistema *wetland* construído.**



**Fonte: autoria própria (2022)**

A solução foi introduzida no protótipo por fluxo contínuo e, a com o volume acumulado de 1000mL dentro do sistema, as amostras resultantes do tratamento via sistema *wetland* foram coletadas pela saída lateral inferior do protótipo, conforme Figura 40. O processo de coleta de amostras repetiu-se em intervalos regulares de 5 minutos.

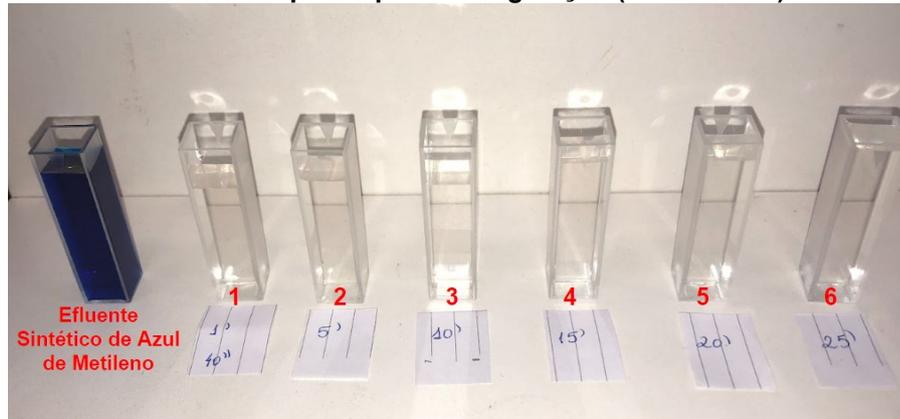
**Figura 40 - Coleta de amostra resultante do processo de tratamento de efluente (protótipo com vegetação).**



**Fonte: autoria própria (2022)**

Foram coletadas o total de seis amostras, conforme Figura 41. Pela figura observa-se que a primeira cubeta, da esquerda para a direita contém a amostra da solução do efluente sintético de azul de metileno preparada para o tratamento. As seis cubetas seguintes contêm as amostras resultantes do tratamento com o sistema *wetland*.

**Figura 41 - Amostras resultantes do processo de tratamento de efluente sintético de azul de metileno em protótipo com vegetação (vista frontal).**



Fonte: autoria própria (2022)

Analisando dados constantes na Tabela 2 é possível relacionar as amostras visualizadas na Figura 41 com a quantidade de solução contida e acumulada no protótipo, no momento em que foram coletadas. Os intervalos regulares de coleta (5 minutos) foram obedecidos e, quando a ordem da coleta apresentada na tabela é correlacionada à imagem disponível nas figuras, fica evidente de que mesmo com a introdução de novos volumes do efluente, as amostras resultantes continuaram apresentando um padrão muito semelhante de transparência.

**Tabela 2 - Relação entre a quantidade de efluente e o intervalo de tempo para a coleta das amostras tratadas pelo protótipo com presença de macrófitas (fluxo contínuo).**

Tempo (minutos)	Volume acumulado (ml) de efluente sintético – fluxo contínuo	Ordem numérica de obtenção da amostra resultante
0	0	-
5	250	-
10	500	-
15	750	-
20	1000	1
25	1250	2
30	1500	3
35	1750	4
40	2000	5
45	2250	6

Fonte: autoria própria (2023)

A observação visual da transparência revelada nas amostras tratadas obtidas aponta para o resultado positivo do tratamento de efluente sintético de azul de metileno, com o uso de sistema *wetland* construído em protótipos com vegetação arroz das águas.

Observou-se que tanto caules quanto raízes das macrófitas presentes no protótipo apresentaram coloração característica à retenção do corante azul de metileno, conforme Figuras 42 e 43, fato que sugere a contribuição das macrófitas para a eficácia do tratamento deste efluente.

**Figura 42 - Caules e folhas de plantas de arroz das águas evidenciando presença de corante azul de metileno, após tratamento de efluente sintético, via sistema *wetland* construído.**



Fonte: autoria própria (2022)

**Figura 43 - Raiz de planta de arroz das águas evidenciando presença de corante azul de metileno, após tratamento de efluente sintético, via sistema *wetland* construído.**



Fonte: autoria própria (2022)

Ao considerar a presença aparente de resíduos do corante azul de metileno nos caules, folhas e, principalmente nas raízes das plantas de arroz das águas

evidencia-se o sucesso dos testes de tratamento de efluente sintético de azul de metileno por meio dos protótipos de sistemas *wetlands* construídos em laboratório.

As amostras resultantes deste processo também elucidaram a eficácia do tratamento, em que se verificou a ausência de cor em cada uma delas, facilmente visualizada.

E, considerando os objetivos do presente estudo, confirmou-se a possibilidade de utilização deste processo, vinculado à Engenharia Ambiental, para estreitar a relação entre estudantes da Educação Básica e o Ensino Superior.

Ademais, a verificação da eficácia do tratamento é capaz de estimular o emprego de ações da Engenharia Ambiental para solução de problemáticas cotidianas.

#### 5.3.3.1 Resultado – varredura espectrofotometria

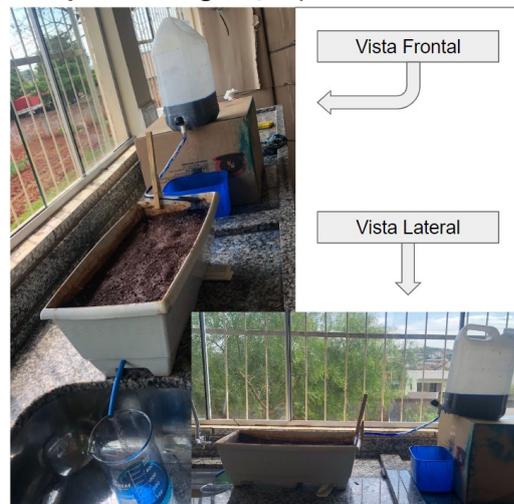
Os dados obtidos a partir da espectrofotometria evidenciaram importantes resultados, em que a absorvância verificada no efluente antes do processo foi de 2,756 e com cinco minutos de tratamento, a absorvância observada na amostra coletada foi de 0,0254 no comprimento de onda 665nm.

O sistema *wetland* mostrou-se eficiente para o tratamento de efluente sintético de azul de metileno, em que o índice de remoção do corante no efluente ultrapassou 99%, durante o tempo de cinco minutos entre a introdução do efluente e a amostra resultante coletada.

#### 5.3.4 Teste 4: Protótipo controle – fluxo contínuo

O protótipo controle (sem vegetação) foi utilizado para testar o tratamento de efluente sintético de azul de metileno a partir de fluxo contínuo, como apresentado na Figura 44.

**Figura 44 - Sistema de fluxo contínuo adaptado para introdução de efluente sintético de azul de metileno (protótipo sem vegetação) em sistema *wetland* construído.**

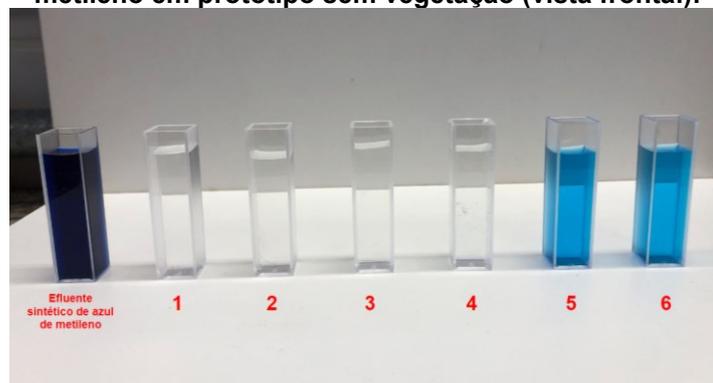


Fonte: autoria própria (2022)

A vazão do fluxo contínuo observada, que introduziu o efluente sintético de azul de metileno no protótipo foi de aproximadamente 0,8mL/s, perfazendo um total de 250mL a cada 5 minutos. Sendo que após oito minutos, já se verificou a saída das primeiras gotas da amostra tratada, através da válvula fixada na lateral inferior do protótipo.

Mas apenas, após 20 minutos do início do experimento, realizou-se a primeira coleta da amostra tratada resultante. A partir desta, as próximas amostras foram coletadas em intervalos regulares de cinco minutos. As amostras coletadas estão apresentadas na Figura 45, as quais podem ser observadas com vista frontal.

**Figura 45 - Amostras resultantes do processo de tratamento de efluente sintético de azul de metileno em protótipo sem vegetação (vista frontal).**



Fonte: autoria própria (2022)

As seis amostras coletadas revelaram a presença do corante azul de metileno em diferentes concentrações, sendo que a partir da quinta amostra, após 20 minutos da primeira coleta, a aparência do material colhido sugere que o substrato já tenha sido saturado pela presença do corante. Tal consideração se faz pelo fato de as amostras seguintes terem mantido praticamente a mesma tonalidade da cor azul.

A Tabela 3 apresenta a relação entre o volume acumulado do efluente sintético e a ordem numérica das amostras resultantes coletadas com intervalos regulares de cinco minutos. Observando os dados constantes na tabela é possível comparar o volume acumulado do efluente no sistema, o número da amostra coletada com a cor apresentada nas figuras anteriores.

**Tabela 3 - Relação entre a quantidade de efluente e o intervalo de tempo para a coleta das amostras tratadas pelo protótipo com ausência de macrófitas (fluxo contínuo).**

Tempo (minutos)	Volume acumulado (ml) de efluente sintético – fluxo contínuo (protótipo sem vegetação)	Ordem numérica de obtenção da amostra resultante
0	0	-
5	250	-
10	500	-
15	750	-
20	1000	1
25	1250	2
30	1500	3
35	1750	4
40	2000	5
45	2250	6

**Fonte: autoria própria (2023)**

Observa-se que recebendo o efluente através de fluxo contínuo, as camadas do substrato do protótipo sem vegetação por si só não foram suficientes para fazer o tratamento do efluente sintético de azul de metileno. As amostras coletadas durante o processo de tratamento evidenciaram, visualmente, que o corante azul esteve presente em todas elas, em maior ou menor concentração.

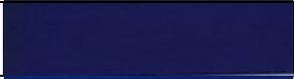
Além do tratamento de águas residuais, o qual já se observou resultados positivos, os experimentos realizados e a obtenção das amostras resultantes contribuem com abordagens significativamente didáticas para o trato com estudantes e professores da educação básica. Ao acompanhar e participar de processos com tal abordagem, tanto professores quanto estudantes estarão familiarizados com técnicas

da Engenharia Ambiental, as quais poderão assumir o papel de ferramentas para a solução de problemas diários e pontuais, bem como integrar e enriquecer a prática curricular docente. A observação das cores presentes e/ou ausentes nas amostras obtidas facilitará a compreensão do processo realizado, sem que sejam necessários recursos mais específicos de pesquisa. A comparação entre todas as amostras permitirá a conclusão da eficácia do tratamento realizado com a presença de macrófitas e também sem elas.

#### 5.3.5 Acompanhamento dos testes de *wetlands*

Para o acompanhamento dos testes de *wetlands* o estudante do ensino médio deverá fazer as seguintes soluções com as respectivas concentrações apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4. Concentração das soluções de corante de azul de metileno.**

Solução	Concentração	Fotografia das Cores da solução capturada
A	1g/L	
B	0,5 g/L	
C	0,25 g/L	
D	0,125 g/L	
E	0,062 g/L	
F	0,031 g/L	
G	0,015g/L	
H	0,007 g/L	
I	0,0035g/L	
J	0,0 g/L	

**Fonte: autoria própria (2023)**

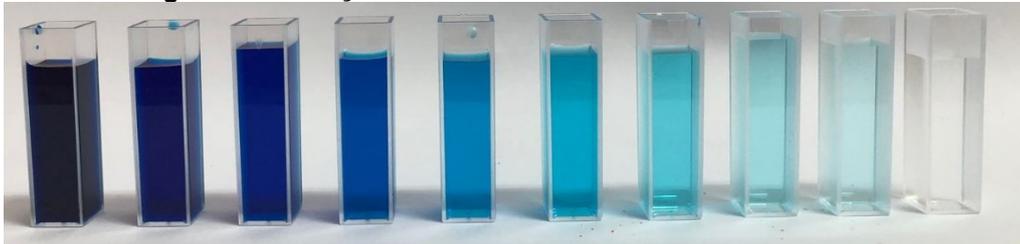
Estas soluções deverão ser distribuídas em bequeres ou cubetas descartáveis para o acompanhamento do tratamento, conforme mostrado nas Figuras 46 e 47.

**Figura 46 - Soluções distribuídas em bequeres de 150ml.**



**Fonte: autoria própria (2023)**

**Figura 47 - Soluções distribuídas em cubetas descartáveis.**



**Fonte: autoria própria (2023)**

Após o tratamento o aluno deverá verificar em que faixa a amostra retirada do tratamento se encontra, comparando as cores da amostra com as cores das soluções, para o acompanhamento da degradação.

#### 5.4 FICHA TÉCNICA - ATIVIDADE EXPERIMENTAL

Ao encerrar a parte experimental, foi elaborado um roteiro composto pelos experimentos realizados em laboratório para posterior utilização dos professores da área de ciências naturais de instituições que ofertam a Educação Básica. O passo a passo da atividade favorece abordagem sistêmica e didática, aproximando a prática da Engenharia Ambiental da resolução de problemas cotidianos que possam surgir no entorno escolar e no âmbito doméstico. O roteiro está disponível como anexo neste trabalho.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante a realização da pesquisa, buscou-se priorizar a aproximação de técnicas da Engenharia Ambiental com a realidade cotidiana de estudantes e professores da Educação Básica Regular, mais especificamente, dos anos finais do Ensino Fundamental e Ensino Médio. A utilização de estratégias da Engenharia Ambiental para a obtenção de resultados para o tratamento de águas residuais levou à utilização dos sistemas *wetlands* construídos como objeto de estudo desta pesquisa. Fato que contribuiu essencialmente para que a aproximação objetivada seja exequível.

A experimentação com o uso de protótipo dos sistemas *wetlands* construídos permitiu a observação, verificação e comparação de resultados quanto ao tratamento de efluente sintético de azul de metileno, repercutindo em análises que confirmam a aplicabilidade do método, no que se refere ao tratamento de efluentes e também à utilização de técnicas da Engenharia Ambiental no âmbito da Educação Básica Regular.

Durante o processo de tratamento do efluente sintético de azul de metileno, confirmou-se a eficácia da ação das macrófitas utilizadas nos protótipos, neste estudo representada, pela plantação de arroz das águas. O tratamento implicou na limpeza do efluente. Tanto as observações, quanto as análises realizadas apontaram para a eficiência do método. A presença do corante azul de metileno em caules e, principalmente, em raízes da vegetação utilizada, infere na percepção da adsorção do corante por estas partes das plantas. Ademais, quando o processo de tratamento do efluente se efetivou em protótipo sem a presença das macrófitas, resultados diferentes foram observados, com amostras resultantes contendo o corante.

Salienta-se ainda, que o substrato foi constituído da mesma forma, obedecendo a ordem de disposição das camadas, em todos os protótipos. E que, no protótipo com ausência de macrófitas, as amostras resultantes apontaram para a presença de corante azul de metileno, visivelmente observado.

Ao decorrer do processo: montagem dos protótipos, escolha da vegetação, plantio de sementes, acompanhamento do crescimento vegetativo do arroz, testagem de limpeza do efluente em batelada e por fluxo contínuo, bem como a obtenção de resultados, com a coleta de amostras diversas, ficou evidente a aplicabilidade deste trabalho com professores e estudantes da Educação Básica Regular. Primeiro, porque

implica num processo acessível de construção de conhecimento, o qual remonta à funcionalidade da Engenharia Ambiental para a resolução de problemas simples e complexos enfrentados no dia a dia, que de maneira clara e principalmente eficiente apresentou resultados significativos. Depois, porque os resultados obtidos apresentaram uma abordagem didática de fácil compreensão para os estudantes.

Verifica-se, assim, que este estudo contribui notoriamente com a potencialização da utilização de recursos da Engenharia Ambiental para a solução de problemas cotidianos e, também favorece o despertar de estudantes do Ensino Fundamental e Médio para o contato com o âmbito universitário.

Os resultados alcançados com a execução do tratamento de águas residuais através da limpeza do efluente sintético de azul de metileno por meio da utilização de Sistemas *Wetlands* Construídos foram muito positivos e demonstraram a eficiência e eficácia do processo. Constatou-se que o método não necessita de recursos financeiros dispendiosos, sendo de fácil construção e execução e, sobretudo, trata-se de um sistema que pode ser adaptado em situações concretas em que se necessite tratar efluentes provenientes de ações antrópicas, tendo como objeto maior a promoção de ações sustentáveis no ambiente cotidiano.

## 6.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Apontamentos pertinentes à aplicabilidade do método estudado - sistemas *wetlands* construídos para tratamento de efluentes são fundamentais para estimular sua utilização dentro do próprio âmbito escolar, em que se pode tornar palpável o tratamento da água cinza de restaurante escolar, por exemplo, através deste processo, veiculando o reuso da água tratada obtida, tornando esta prática viável e encorajadora à busca pela sustentabilidade. No entanto, o prosseguimento deste estudo poderá se efetivar em trabalhos futuros, uma vez que a presente pesquisa com seus respectivos resultados poderá fundamentar novas abordagens e amplitudes.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, Helisson Henrique Borsato. **Avaliação do desempenho de sistemas de zona de raízes (*wetlands* construídas) em escala piloto aplicados ao tratamento de efluente sintético**. UTFPR, Curitiba, 2012. Disponível em: [http://CT\\_PPGEAC\\_M\\_Andrade,%20Helisson%20Henrique%20Borsato%20de\\_2012.pdf](http://CT_PPGEAC_M_Andrade,%20Helisson%20Henrique%20Borsato%20de_2012.pdf) (acesso em 15/03/2023)

ANJOS, José Ângelo Sebastião Araujo dos. **Avaliação da eficiência de uma zona alagadiça (*wetland*) no controle da poluição por metais pesados: o caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação/BA**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2003. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-28042004-094552/pt-br.php> (acesso em 28/07/2021)

BROTA, Giovani Archanjo. **Avaliação de um sistema piloto de *wetlands* construídos para a remoção de compostos emergentes**. Universidade Estadual de Campinas: Campinas, 2018. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/296898146.pdf> (acesso em 20/07/2021)

COSTA, M. P. S. **Avaliação do potencial de plantas nativas do Brasil no tratamento de esgoto doméstico e efluentes industriais em *wetlands* construídos**. Campinas, SP: [s. n.], 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: [http://www.repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/266471/1/Costa\\_SylviaM ariaSouzaPereirada\\_D.pdf](http://www.repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/266471/1/Costa_SylviaM ariaSouzaPereirada_D.pdf) (acesso em 30/07/2021)

FERREIRA, Marcella Moretti e SARON, Alexandre. **Estudo da eficiência do tratamento de esgoto doméstico por sistema de *wetland* de fluxo vertical descendente para ser aplicado em comunidades isoladas estação de tratamento em escala de laboratório**. InterfacEHS - Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade, 2013. Disponível em: [http://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/wp-content/uploads/2013/07/SECAO\\_vol8n1.pdf](http://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/wp-content/uploads/2013/07/SECAO_vol8n1.pdf) (acesso em 29/07/2021)

FRANCO, Barbara Fernandes Jaegger; MOURA, Matheus de Jesus Soares. **“Emprego de *wetlands* para reuso de águas cinzas em um condomínio residencial”**. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/4094/TCC%20Matheus%20e%20Barbara.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (acesso em 20/07/2021)

GEORGIN, J.; LAZZARI, L.; CABRAL, J. C.; MARANGONI, L. D. **Brasil: O acesso universal ao saneamento básico**. Revista Monografias Ambientais - REMOA v.13, n.4, p.3649-3654 set-dez., 2014.

LAURIUCHI, Geissielen Andrade. **Remoção de cobre e zinco de um efluente sintético em *wetland* construído utilizando macrófita do cerrado e resíduo de cerâmica**. Universidade Federal de Uberlândia, 2021. Disponível em: <<http://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/32147/1/Remo%C3%A7%C3%A3oCo breZinco.pdf>> (acesso em 02/08/2021)

LAUTENSCHLAGER, S.R. **Modelagem do desempenho de *Wetlands* construídas**. São Paulo. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, 2001. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-11072002-091741/en.php>> (acesso em 30/07/2021)

LIMA, Lucas Cardoso; FORESTI JR, Marcelo Paiva; SIQUEIRA, Juliano Curi; FIA, Ronaldo; FIA, Fátima Resende Luiz. **Utilização de *wetlands* para remoção de nutrientes de esgoto sanitário**. XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017 30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL. Disponível em : <[https://www.researchgate.net/profile/Juliano-Curi-De-Siqueira-2/publication/352006377\\_Utilizacao\\_de\\_wetlands\\_para\\_remocao\\_de\\_nutrientes\\_de\\_esgoto\\_sanitario/links/60b53b8d299bf106f6ed9a5c/Utilizacao-de-wetlands-para-remocao-de-nutrientes-de-esgoto-sanitario.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Juliano-Curi-De-Siqueira-2/publication/352006377_Utilizacao_de_wetlands_para_remocao_de_nutrientes_de_esgoto_sanitario/links/60b53b8d299bf106f6ed9a5c/Utilizacao-de-wetlands-para-remocao-de-nutrientes-de-esgoto-sanitario.pdf)> (acesso em 30/07/2021)

LIMA, R. F. D. S. Potencialidades dos *wetlands* construídos empregados no pós-tratamento de esgotos: experiências brasileiras. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 81. 2016. *In*: MORAES, Franciele Lucas de. **Monitoramento de *wetland* construído de fluxo horizontal empregado no tratamento do efluente de um restaurante universitário**. Londrina: UTFPR, 2017. Disponível em: <[https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12110/2/LD\\_COEAM\\_2017\\_1\\_11.pdf](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12110/2/LD_COEAM_2017_1_11.pdf)> (acesso em 03/08/2021)

LIMA, Rodrigo Fidelis de Souza. **Potencialidades dos *wetlands* construídos empregados no pós-tratamento de esgotos: experiências brasileiras**. UFSC, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/78553535.pdf> (acesso em 18/03/2023).

MACEDO, Keyliane R.; Lima, Cristian K. M. de; Silva Filho, Luiz F. **Métodos de tratamento de efluentes gerados pela indústria têxtil: uma revisão bibliográfica**. Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA. 2019. Disponível em: [https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/4412/2/keylianeRM\\_ART.pdf](https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/4412/2/keylianeRM_ART.pdf) (acesso em 08/03/2023)

MACHADO, Carla Rênes de Alencar; SOUSA, Dayse Pereira Barbosa; SILVA, Gisele Cantalice Salomão da. **A busca por soluções para a poluição hídrica: um estudo de caso sobre tratamento de efluentes**. Brazilian Journal of Development, 2022. Disponível em: <https://scholar.archive.org/work/lhvrb7ap4ffwfpbc7mdjwo5e3m/access/wayback/https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/download/44481/pdf> (acesso em 15/04/2023)

MARQUES, D.M. **Terras úmidas Construídas de Fluxo Subsuperficial**. In: CAMPOS, J.R. (Coord.). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e

disposição controlada no solo. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro, ABES, 1999. In: LIMA, Lucas Cardoso; FORESTI JR, Marcelo Paiva; SIQUEIRA, Juliano Curi; FIA, Ronaldo; FIA, Fátima Resende Luiz. **Utilização de wetlands para remoção de nutrientes de esgoto sanitário**. XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017 30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL. Disponível em : <[https://www.researchgate.net/profile/Juliano-Curi-De-Siqueira-2/publication/352006377\\_Utilizacao\\_de\\_wetlands\\_para\\_remocao\\_de\\_nutrientes\\_de\\_esgoto\\_sanitario/links/60b53b8d299bf106f6ed9a5c/Utilizacao-de-wetlands-para-remocao-de-nutrientes-de-esgoto-sanitario.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Juliano-Curi-De-Siqueira-2/publication/352006377_Utilizacao_de_wetlands_para_remocao_de_nutrientes_de_esgoto_sanitario/links/60b53b8d299bf106f6ed9a5c/Utilizacao-de-wetlands-para-remocao-de-nutrientes-de-esgoto-sanitario.pdf)> (acesso em 30/07/2021)

MORAIS, Rayssa de Medeiros; SANTANA, Gregório Mateus; LELIS, Roberto Carlos Costa; SCHUELER, Maria Vanessa Egger, MORBECK, Fernanda Lago; PAES, Juarez Benigno. Produção de carvão ativado a partir de Eucalyptus dunnii para adsorção de corante azul de metileno. Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science), 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/cienciadamadeira/article/view/13560> (acesso em 06/05/2023)

NASCIMENTO, Lucas Matheus dos Santos; ZABLONSKY, Joana Rupperecht; SILVA, Davi Paula da; MARCONDES, Naiury da Silva; SOUZA, Barbara Lizandra Perini de. **Construção e caracterização microbiológica de dois Sistemas Wetlands em escala piloto aplicados ao tratamento de efluente doméstico**. Instituto Federal do Paraná. Revista Mundi Saúde e Biológicas. Curitiba, PR, v. 4, n. 1, jan./jun., 2019. Disponível em: <https://periodicos.ifpr.edu.br/index.php?journal=MundiSB&page=article&op=view&path%5B%5D=709&path%5B%5D=363> (acesso em 28/07/2021)

NUNES, José Luis da Silva. **Características do arroz**. 2021. Disponível em: [https://www.agrolink.com.br/culturas/arroz/informacoes/caracteristicas\\_361559.html](https://www.agrolink.com.br/culturas/arroz/informacoes/caracteristicas_361559.html) (acesso em 20/08/2022)

OLIVEIRA, Fabiano Mendonça de. Resíduos agroindustriais como adsorventes para remoção de azul de metileno em meio aquoso. UFG. Catalão, 2016. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/6241/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20%20Fabiano%20Mendon%C3%A7a%20de%20Oliveira%20-%202016.pdf> (acesso em 09/03/2023)

ORMONDE, V. S. D. S. Avaliação de *wetlands* construídos no pós tratamento de efluente de lagoa de maturação. Universidade de Mato Grosso. Cuiabá, p. 96. 2012. In: MORAES, Franciele Lucas de. **Monitoramento de wetland construído de fluxo horizontal empregado no tratamento do efluente de um restaurante universitário**. Londrina: UTFPR, 2017. Disponível em: <[https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12110/2/LD\\_COEAM\\_2017\\_1\\_11.pdf](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12110/2/LD_COEAM_2017_1_11.pdf)> (acesso em 03/08/2021)

PALMA, Daniela Camargo da; SANTOS, Amélia dos. **Estudo metodológico de um modelo de wetland construído como recurso didático de novas tecnologias no tratamento de efluentes, aplicado na escola formal**. VII Congresso Brasileiro de

Gestão Ambiental Campina Grande/PB – 21 a 24/11/2016. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/VII-005.pdf>> (acesso em 30/07/2021)

PATRO, Raquel. **Taboa: *Typha domingensis***. Jardineiro.net. Plantas de a a z. 2022. disponível em: <<https://www.jardineiro.net/plantas/taboa-typha-domingensis.html>> (acesso em 14/08/2022)

PEREIRA, Ana Maria Souza; LIMA, Bianca Santana; SENA, Ivane Marcley Nascimento. **Utilização de sistemas *wetlands* no tratamento de esgoto residencial**. Graduação em Movimento: Ciências exatas e tecnológicas, UNIFTC, 2022. Disponível em: <https://periodicos.uniftc.edu.br/index.php/gdmexatas/article/view/167/81> (acesso em 15/04/2023)

PROJETO AMBIENTAL. **O que é uma estação de tratamento de efluentes?** 2023. Disponível em: <https://projetoambiental.com.br/o-que-e-uma-estacao-de-tratamento-de-efluentes/> Acesso em: 10/03/2023

PORTAL BRASIL. **Pesquisa foca na redução do uso de água no plantio de arroz**. 2015. Disponível em: <https://www.amambainoticias.com.br/2015/11/17/pesquisa-foca-na-reducao-do-uso-de-agua-no-plantio-de-arroz/> (acesso em 20/08/2022)

ROTÁRIA DO BRASIL, 2021. **Imagem** Disponível em: <<https://br.images.search.yahoo.com/search/images>> (acesso em 29/07/2021)

SALATI, E. Controle de qualidade de água através de Sistemas de *wetlands* construídos. Rio de Janeiro, [2010?]. In: ÁVILA, Átala Rebeca da Silva. **Melhoria da qualidade da água de lagos urbanos com uso de wetland construído**. Instituto Federal de Goiás, 2018. Disponível em: <[https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/250/1/tcc\\_%20%c3%81tala%20Rebeca%20da%20Silva%20%c3%81vila.pdf](https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/250/1/tcc_%20%c3%81tala%20Rebeca%20da%20Silva%20%c3%81vila.pdf)> (acesso em 01/08/2021)

SILVA, Luiz Tadeu da. Fitorremediação de águas contaminadas: uma revisão bibliográfica. 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Taboa-Typha-domingensis\\_fig4\\_333965025](https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Taboa-Typha-domingensis_fig4_333965025) (acesso em 12/08/2022)

SILVA, Selma Cristina da. **"Wetlands construídos" de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos**. 231 f. 2007. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007. Disponível em: <<http://ptarh.unb.br/wp-content/uploads/2017/05/tese-doutorado-Selma.pdf>> (acesso em 28/07/2021)

SILVEIRA *et. al.* **Tratamento de efluentes sépticos em wetlands construídos de uma unidade universitária**. Tecnia, 2020. Disponível em: <<http://revistas.ifg.edu.br/tecnica/article/view/771/567>> (acesso em 02/08/2021)

SOARES, Marcella Facó; SANTOS, André Bezerra dos. **Proposta de ações sustentáveis direcionadas à melhoria do ambiente escolar na região rural do Ceará**. XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - 29

a 31 Outubro 2012 - Juiz de Fora. Disponível em:

<[http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/57780/1/2012\\_eve\\_mfsoares.pdf](http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/57780/1/2012_eve_mfsoares.pdf)>  
(acesso em 30/07/2021)

UNESCO (1999) CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE MEIO AMBIENTE E SOCIEDADE: EDUCAÇÃO E CONSCIENTIZAÇÃO PÚBLICA PARA A SOCIEDADE, 1999, Brasília. **Educação para um Futuro Sustentável: Uma visão transdisciplinar para uma ação compartilhada.** Ed. IBAMA

VEGAZETA. **Laboratório encontra fonte natural de B12 em lentilha d'água.** 2019. Disponível em: <https://vegazeta.com.br/laboratorio-encontra-fonte-natural-de-b12-em-lentilha-dagua/> (acesso em 20/08/2022).

VYGOTSKY, L. S. **A Formação Social da Mente.** São Paulo, Martins Fontes:1984.

WELSCH, D., J.; SMART, D., L.; BOYER, J., N.; MINKIN, P.; SMITH, H., C.; MCCANDLESS, T., L. Forested Wetlands Functions, Benefits, and the Use of Best Management Practices, Radnor, 1995, 63p. *In*: ÁVILA, Átala Rebeca da Silva. **Melhoria da qualidade da água de lagos urbanos com uso de wetland construído.** Instituto Federal de Goiás, 2018. Disponível em: <[https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/250/1/tcc\\_%20%c3%81tala%20Rebeca%20da%20Silva%20%c3%81vila.pdf](https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/250/1/tcc_%20%c3%81tala%20Rebeca%20da%20Silva%20%c3%81vila.pdf)> (acesso em 01/08/2021)

WU, S. et al. Development of constructed wetlands in performance intensifications for wastewater treatment: a nitrogen and organic matter targeted review. *Water Res.*, v.57C, p.40–55. 2014. *In*: FRANCO, Barbara Fernandes Jaegger; MOURA, Matheus De Jesus Soares. Emprego de *wetlands* para reuso de águas cinzas em um condomínio residencial. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2017. Disponível em:

<https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/4094/TCC%20Matheus%20e%20Barbara.pdf;jsessionid=85B58F8834D027421ECC8E1867CD00A3?sequence=1> (acesso em 20/02/2022)

ZANELLA, L.; NOUR, E. A. A.; ROSTON, D. M. *Wetlands*-construídas vegetadas com plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes domésticos. UNICAMP. Campinas. *In*: MORAES, Franciele Lucas de. **Monitoramento de wetland construído de fluxo horizontal empregado no tratamento do efluente de um restaurante universitário.** Londrina: UTFPR, 2017. Disponível em: <[https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12110/2/LD\\_COEAM\\_2017\\_1\\_11.pdf](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12110/2/LD_COEAM_2017_1_11.pdf)> (acesso em 03/08/2021)

# ANEXO

# FICHA TÉCNICA DE ATIVIDADE EXPERIMENTAL

## ENGENHARIA AMBIENTAL

MESTRANDA: ROSEMARY PORTO ALVES PEREIRA  
ORIENTADOR(A): DRA. RUBIANE GANASCIM MARQUES  
COORIENTADOR(A): DRA. ANA CLÁUDIA UEDA

### APRESENTAÇÃO

Este experimento é uma forma de inserção da Engenharia Ambiental no âmbito escolar - Ensino Básico, com o uso de atividades práticas que enfatizam a funcionalidade desta ciência para a resolução de problemas cotidianos contribuindo com a sustentabilidade ambiental. É uma atividade de fácil execução que pode estar associada aos conteúdos que constituem os componentes curriculares do Ensino Fundamental e do Ensino Médio, podendo ser realizada nos laboratórios biofísico-químico dos colégios públicos que ofertam a educação básica.

### SEGURANÇA

A segurança no laboratório é responsabilidade coletiva e implica na cooperação entre todos os indivíduos que fazem uso deste ambiente. Antes de realizar qualquer atividade laboratorial é fundamental que o usuário esteja informado sobre riscos de produtos químicos a serem utilizados, sobre precauções de segurança e procedimentos de emergência em caso de acidentes. As normas de segurança se estendem a todos os indivíduos usuários do laboratório.

## ATIVIDADE EXPERIMENTAL

### TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUAL COM UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS WETLANDS CONSTRUÍDOS

#### INTRODUÇÃO

Os sistemas wetlands construídos são semelhantes ao sistema natural de um pântano. Utiliza-se, basicamente, uma vegetação pantanosa, uma comunidade microbiana e estrato de solo (ou ainda areia e cascalho) para a remoção dos poluentes de efluentes. Para fins didáticos, este sistema fará o tratamento de efluente sintético de azul de metileno, com a utilização de protótipos em laboratório.

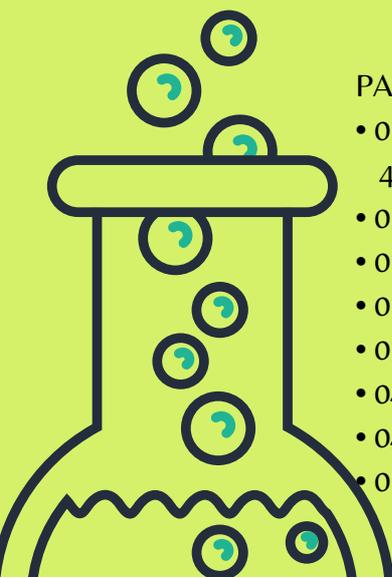
#### OBJETIVO

Tratar efluente sintético de azul de metileno com protótipos de sistemas wetlands construídos em laboratório.

### MATERIAIS:

#### PARA A CONSTRUÇÃO DOS PROTÓTIPOS

- 02 floreiras plásticas para jardinagem com dimensões 42cm (comp.) x 15cm (larg) x 15 cm (alt.);
- 02 pedaços de 15 cm de mangueira plástica flexível 5 mm; 01 fita adesiva;
- 01 régua;
- 01 caneta de tinta permanente;
- 01 objeto pontiagudo perfurante (faca de ponta fina, bisturi, estilete);
- 04 litros de pedra brita zero;
- 04 litros de areia fina lavada;
- 08 litros de solo argiloso.



## PARA A CONSTRUÇÃO DO SISTEMA DE FLUXO CONTÍNUO

- 01 galão plástico de 05 litros;
- 01 metro de mangueira plástica flexível 5mm;
- 01 torneira de filtro com rosca;
- 01 fita veda rosca;
- 01 objeto pontiagudo perfurante (faca de ponta fina, bisturi, estilete);
- 01 tubo de cola de silicone

## PARA A SOLUÇÃO

- 1g de azul de metileno em pó;
- 2 litros de água;
- 01 balão volumétrico de 2 litros;
- 01 pipeta;
- 01 baqueta;
- 01 balança de precisão.

## PARA A SEMEADURA

- 200g de sementes de arroz das águas em casca;
- Água para irrigação;
- 50 g de ureia (usar se necessário).

# PROCEDIMENTOS:

## NA CONSTRUÇÃO DOS PROTÓTIPOS

Fazer as marcações na parte interna das floreiras com caneta, do fundo para a extremidade, delimitando a altura das camadas do substrato: pedra brita 2,5 cm; areia lavada 2 cm e solo 5,5 cm. Na altura de 1 cm do fundo, na dimensão da largura da floreira, utilizar o objeto pontiagudo para perfurar a floreira com espessura aproximada de 5mm. Neste furo encaixar o pedaço de 15 cm de mangueira flexível. Na floreira pronta, preencher do fundo para a extremidade com pedra brita zero, areia lavada e solo, respeitando as demarcações. Dobrar a mangueira que ficou na parte externa da floreira e fixar a dobra com a fita adesiva.



### NA SEMEADURA

Irrigar o protótipo de modo que o solo fique parcialmente alagado. Distribuir de forma irregular as sementes de arroz sobre o solo irrigado em apenas um dos protótipos. Revolver levemente o solo com os dedos, para a cobertura das sementes. Fazer a irrigação diariamente, duas vezes ao dia, usando 250 ml de água em cada irrigação. Tempo aproximado para o brotamento: 4 dias. Tempo aproximado para o crescimento das plantas e realização dos experimentos: 60 dias. Importante: Mesmo não estando ao ar livre, os protótipos devem receber luz do sol diariamente. E, caso haja amarelamento da folhagem, aplicar cuidadosamente na terra, grânulos de ureia (aproximadamente uma colher de chá).



### NA CONSTRUÇÃO DO SISTEMA DE FLUXO CONTÍNUO

Utilizando o objeto pontiagudo, fazer um furo na parte inferior do galão, à altura de 1 cm do fundo para o encaixe da torneira. Encaixar a torneira e vedar com fita veda-rosca e cola de silicone. Na extremidade da torneira fixar a mangueira flexível.



### NO PREPARO DA SOLUÇÃO

No balão volumétrico colocar os dois litros de água e acrescentar o azul de metileno. Vedar o recipiente e mexer para homogeneizar.

## TESTAGEM DO SISTEMA WETLAND CONSTRUÍDO PARA O TRATAMENTO DO EFLUENTE SINTÉTICO DO AZUL DE METILENO

Para testar o sistema, serão utilizados os dois protótipos: o que contém a plantação de arroz e o que contém apenas substrato. Depositar 250 ml da solução de azul de metileno nos protótipos a cada 5 minutos, em regime de batelada. Liberar a vazão da mangueira e observar a solução resultante em cada um dos protótipos, recolhendo amostras para comparação de coloração. Ao testar o fluxo contínuo, utilizar o sistema adaptado com o galão plástico e a torneira para controle da vazão. Realizar o teste em fluxo contínuo também nos dois protótipos e coletar as amostras resultantes para comparação da coloração obtida.



### REFERÊNCIA

PEREIRA, Rosemary P. A. Construção de protótipos de sistemas wetlands para tratamento de efluentes: uma prática voltada ao ensino básico. Apucarana: UTFPR, 2023.