

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

FLÁVIO BIGATON WERLANG

**AVALIAÇÃO DO USO DE *Zantedeschia aethiopica* PARA O TRATAMENTO
DE ÁGUAS CINZAS PROVENIENTE DE MÁQUINA DE LAVAR ROUPA**

CAÇAPAVA DO SUL

2023

FLÁVIO BIGATON WERLANG

**AVALIAÇÃO DO USO DE *Zantedeschia aethiopica* PARA O TRATAMENTO
DE ÁGUAS CINZAS PROVENIENTE DE MÁQUINA DE LAVAR ROUPA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Henrique Lugokenski

Caçapava do Sul

2023

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

W489a Werlang, Flávio Bigaton

AVALIAÇÃO DO USO DE Zantedeschia aethiopica PARA O
TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS PROVENIENTE DE MÁQUINA DE LAVAR
ROUPA / Flávio Bigaton Werlang.

69 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA, 2023.

"Orientação: Thiago Henrique Lugokenski".

1. Gestão sustentável. 2. Reutilização de águas cinzas. 3.
Eficácia do tratamento. 4. Alagados artificiais. I. Título.

FLÁVIO BIGATON WERLANG

**AVALIAÇÃO DO USO DE *Zantedeschia aethiopica* PARA O TRATAMENTO
DE ÁGUAS CINZAS PROVENIENTE DE MÁQUINA DE LAVAR ROUPA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Ambiental e Sanitária da Universidade
Federal do Pampa, como requisito parcial
para obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Ambiental e Sanitária

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: / /2023

Banca examinadora:

Prof. Dr. Thiago Henrique Lugokenski

Orientador - UNIPAMPA

Profa. Dra. Caroline Wagner

UNIPAMPA

UNIPAMPA

Me. Guilherme Pacheco Casanova



Assinado eletronicamente por **GUILHERME PACHECO CASA NOVA**, Técnico de Laboratório Área, em 18/12/2023, às 10:34, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **THIAGO HENRIQUE LUGOKENSKI**, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR, em 18/12/2023, às 14:50, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **CAROLINE WAGNER**, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR, em 18/12/2023, às 15:11, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1332269** e o código CRC **B692B786**.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho de conclusão de curso para a minha querida e amada esposa Rosemari, que não se cansa de me apoiar, mesmo quando eu penso em desistir.

AGRADECIMENTO

Aos professores dedicados, que com sabedoria e paciência guiaram meu caminho, transmitindo conhecimento e inspiração, minha gratidão é eterna. Vocês foram verdadeiros mentores, iluminando meu percurso acadêmico e ajudando-me a alcançar meu potencial máximo. Sou grato por cada lição aprendida, por cada desafio superado ao seu lado.

Um agradecimento especial para o meu orientador Professor Doutor Thiago Henrique Lugokenski, pelo apoio incondicional, pelo seu tempo disponível, pelas orientações em todos os momentos, meu muito obrigado.

As minhas filhas, Mileni e Daiane, pelo apoio e forçar para não desistir, foi meu sustento durante essa jornada, meu coração transborda de gratidão. Vocês estiveram ao meu lado em cada passo, encorajando-me, dando-me força e encarando todas as adversidades juntos. Sou abençoado por ter vocês ao meu lado.

Aos colegas de curso, companheiros de jornada, compartilhamos risos, desafios e experiências inesquecíveis. Juntos superamos obstáculos e celebramos cada conquista. Vocês foram uma fonte constante de inspiração, encorajamento e colaboração, tornando essa jornada acadêmica memorável e enriquecedora.

RESUMO

A água desempenha um papel vital na existência humana e em uma ampla gama de atividades fundamentais. No entanto, a realidade da falta de acesso à água potável para milhões de brasileiros, juntamente com perdas significativas no sistema de distribuição, destaca a necessidade urgente de adotar estratégias de gestão sustentável para este recurso indispensável. Dentro deste contexto, a reutilização de águas cinzas, especialmente aquelas provenientes de máquinas de lavar, surge como uma solução crucial. Este estudo examinou a utilização da *Zantedeschia aethiopica* em um protótipo projetado para tratar águas cinzas provenientes de máquinas de lavar, usando brita como substrato. Vários tempos de retenção hidráulica (TRH) - 4, 8, 24, 48 e 72 horas - foram minuciosamente avaliados, revelando a eficácia do sistema de alagados na manutenção dos valores de pH e oxigênio dissolvido, ao mesmo tempo em que reduzia significativamente a turbidez e diminuía substancialmente a demanda bioquímica de oxigênio (DBO5/20) em aproximadamente 91,9%. É importante ressaltar que esse índice supera notavelmente o requisito estabelecido pela Resolução 430/2011 do CONAMA, que define um padrão de 60% para esse parâmetro. Esses resultados destacam o promissor potencial da *Zantedeschia aethiopica* em aprimorar o processo de purificação de águas cinzas, demonstrando seu impacto positivo no aumento dos níveis de oxigênio dissolvido e na diminuição da demanda de oxigênio, ambos reconhecidos como indicadores clássicos de contaminação. No entanto, enfatiza-se a necessidade urgente de investigações adicionais para validar e aprofundar esses resultados, considerando meticulosamente as várias variáveis que influenciam a eficácia do tratamento baseado em plantas.

Palavras-chave: Gestão sustentável, reutilização de águas cinzas, eficácia do tratamento, alagados artificiais.

ABSTRACT

Water plays a vital role in human existence and a wide array of essential activities. However, the reality of millions of Brazilians lacking access to clean drinking water, coupled with substantial losses in the distribution system, underscores the urgent need for adopting sustainable management strategies for this indispensable resource. Within this context, the reuse of greywater, particularly from washing machines, emerges as a pivotal solution. This study examined the utilization of *Zantedeschia aethiopica* in a prototype designed to treat greywater originating from washing machines, utilizing gravel as a substrate. Various hydraulic retention times (HRT) - 4, 8, 24, 48, and 72 hours - underwent meticulous evaluation, revealing the efficacy of the wetlands system in maintaining pH and dissolved oxygen values, while significantly reducing turbidity and substantially lowering the biochemical oxygen demand (BOD_{5/20}) by approximately 91.9%. Notably, this index notably surpasses the requirement stipulated by Resolution 430/2011 of CONAMA, which sets a standard of 60% for this parameter. These findings underscore the promising potential of *Zantedeschia aethiopica* in enhancing the purification process of greywater, demonstrating its positive impact on increasing dissolved oxygen levels and decreasing oxygen demand, both recognized as classical contamination indicators. However, it emphasizes the pressing need for further investigations to validate and delve deeper into these outcomes, meticulously considering the various variables that influence the effectiveness of plant-based treatment.

Keywords: Greywater reuse, treatment effectiveness, artificial wetlands.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo médio de água em litros por habitante por dia por estados brasileiros.....	17
Tabela 2 - Perdas de água tratada.....	18
Tabela 3 - Parâmetros permitidos para lançamento de efluentes em corpos hídricos.....	28
Tabela 4 – Custo de construção do protótipo.....	33
Tabela 5 - pH do efluente tratado.....	41
Tabela 6 - Sólidos totais (mg/L).....	42
Tabela 7 - Turbidez do efluente tratado (NTU).....	44
Tabela 8 - Oxigênio dissolvido do efluente tratado (mg/L)	46
Tabela 9 - Condutividade Elétrica do efluente tratado(μ S/cm)	47
Tabela 10 - Oxigênio dissolvido (OD) inicial, final e a DBO5/20 encontrada (mg/L)	49
Tabela 11 - Eficiência do DBO 5/20	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fontes de micropoluentes em ambientes aquáticos	12
Figura 2 - Esquema representativo do perfil longitudinal do wetland construído de escoamento horizontal subsuperficial.	23
Figura 3 - Esquema representativo do perfil longitudinal do wetland construído de escoamento vertical.	24
Figura 4 - <i>Zanteschia aeothipica</i>	26
Figura 5 - Lavagem da brita	32
Figura 6 - Tubos de drenagem	32
Figura 7 - Caixa com torneira	32
Figura 8 - Local de coleta das plantas.....	34
Figura 9 - Lavagem das plantas	35
Figura 10 - Visão do nível de água nas caixas.....	35
Figura 11 - Unidades de tratamento prontas	36
Figura 12 – Sabão líquido Brilhante	37
Figura 13 - Roupas que foram lavadas	37
Figura 14 - Efluente bruto coletado	37
Figura 15 - Tubos plásticos com efluente tratado congelado	38

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - pH.....	41
Gráfico 2 - Sólidos totais do efluente tratado (mg/L)	43
Gráfico 3 - Turbidez do efluente tratado (NUT)	45
Gráfico 4 - Oxigênio dissolvido do efluente tratado (mg/L).....	46
Gráfico 5 - Condutividade elétrica do efluente tratado ($\mu\text{S}/\text{cm}$).....	48
Gráfico 6 - DBO5/20 (mg/L).....	50

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA - Agência Nacional de Águas

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO _{5/20} – Demanda Bioquímica de Oxigênio

FUNASA – Fundação Nacional da Saúde

OD – Oxigênio Dissolvido

ONU – Organização das Nações Unidas

pH – Potencial Hidrogeniônico

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	Objetivo geral	15
2.2	Objetivos específicos	15
3	JUSTIFICATIVA.....	15
4	CONCEITOS GERAIS E REFERENCIAL TEÓRICO	16
4.1	Água – Um recurso finito	16
4.2	Reuso de águas cinzas	19
4.3	Composição das águas cinzas de uma máquina de lavar roupas.....	20
4.4	Tratamento das águas cinzas	21
4.5	Wetlands: Natureza e Construção para o Tratamento de Águas	22
4.6	Uso da espécie <i>Zantedeschia aethiopica</i> (Copo de Leite) em wetlands ..	25
4.7	Avaliação e monitoramento do tratamento de água	27
4.7.1	Potencial Hidrogeniônico (pH).....	28
4.7.2	Sólidos Totais.....	29
4.7.3	Turbidez	29
4.7.4	Oxigênio Dissolvido (OD)	30
4.7.5	Condutividade Elétrica.....	30
4.7.6	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO _{5/20})	30
5	METODOLOGIA	31
5.1	Construção e configuração do protótipo.....	31
5.2	Montagem do experimento.....	32
5.2.1	Coleta e preparação das plantas.....	33
5.2.2	Coleta do efluente bruto	36
5.2.3	Adição do efluente bruto nas unidades	37

5.2.4 Coleta e análise do efluente tratado	38
5.3 Método de análise dos parâmetros	38
5.3.1 Potencial hidrogeniônico (pH)	38
5.3.2 Sólidos totais	39
5.3.3 Turbidez	39
5.3.4 Oxigênio tissorvido (OD)	39
5.3.5 Condutividade elétrica	39
5.3.6 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO _{5/20})	39
6 RESULTADOS.....	40
6.1 – Potencial Hidrogeniônico (pH)	40
6.2 – Sólidos totais	42
6.3 – Turbidez	44
6.4 – Oxigênio dissolvido	45
6.5 – Condutividade Elétrica.....	47
6.6 – Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO _{5/20}	48
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

A falta de água potável é um problema crescente em todo o mundo e representa uma ameaça significativa à saúde humana e ao meio ambiente (ONU, 2019). A poluição hídrica é um problema ambiental significativo que afeta a qualidade da água e, conseqüentemente, a saúde humana e a vida aquática. De acordo com Moraes (2022), a poluição hídrica é caracterizada pela introdução de qualquer matéria ou energia que altera as propriedades físicas, químicas e biológicas da água. As principais causas dessa poluição são atividades humanas, como o descarte irregular de resíduos industriais, lixo e outros dejetos urbanos, resíduos da atividade agrícola, industrial ou de mineração, vazamento de combustíveis de embarcações e desmatamento.

A poluição hídrica também tem implicações socioambientais e econômicas. No Brasil, esses problemas são vivenciados de forma desigual, com maiores conseqüências para comunidades mais vulneráveis ou determinadas atividades ocupacionais (Curado et al, 2022).

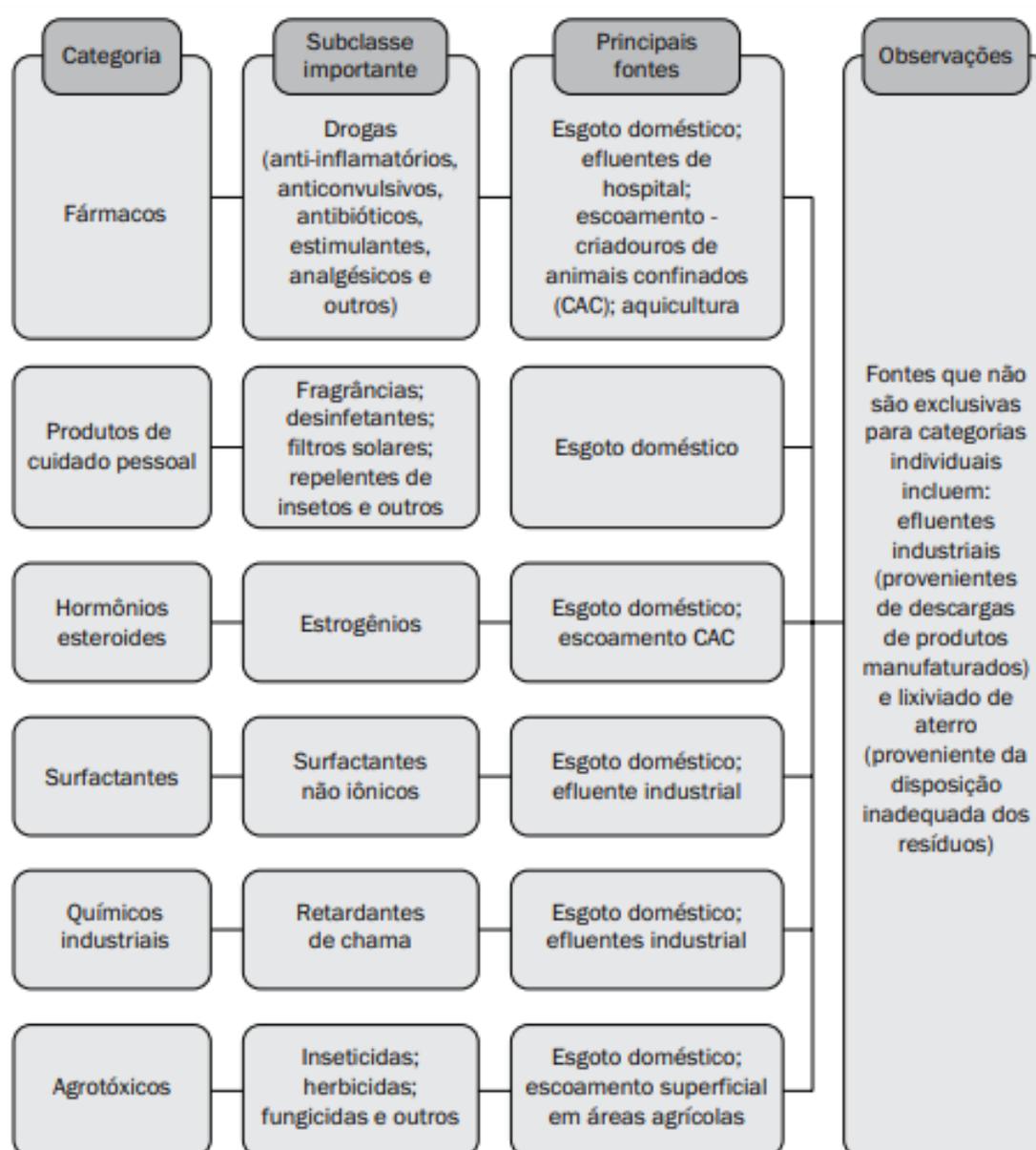
De acordo com o relatório das Nações Unidas de 2019, quase metade da população mundial vive em áreas de alto estresse hídrico, e estima-se que a demanda global por água aumente em 20-30% até 2050 (ONU, 2019). No Brasil, cerca de 35 milhões de pessoas ainda não têm acesso a água potável e mais de 100 milhões de pessoas não têm acesso a serviços de coleta e tratamento de esgoto (SNIS, 2019).

Segundo Soares (2019), as águas superficiais enquadradas a partir da Classe 1, segundo a norma pertinente, podem receber efluentes líquidos e também constituírem mananciais de abastecimento público. No caso do uso de águas dessa classificação, a legislação exige apenas tratamento simplificado antes da distribuição, que consiste na clarificação por meio somente de filtração e desinfecção (CONAMA 357, 2005). Estudos sugerem que possíveis alterações na saúde humana – envolvendo câncer de mama e de testículo, além de infertilidade masculina – podem estar relacionadas à exposição a poluentes emergentes (Ghiselli e Jardim, 2007). A presença desses contaminantes em

sistemas hídricos tem sido objeto de estudos em diversas partes do mundo onde se discutem os critérios para regulamentação.

Dentre os contaminantes existem os micropoluentes, sendo que as fontes dos mesmos nos recursos hídricos são diversas, sendo que muitos desses contaminantes originam-se de produtos industrializados. A Figura 1 apresenta algumas fontes de micropoluentes nos ambientes aquáticos (Soares, 2020).

Figura 1 - Fontes de micropoluentes em ambientes aquáticos



Fonte: Soares (2020, adaptado de Luo et al, 2014).

As águas cinzas correspondem a uma grande porcentagem do esgoto residencial, de 50 a 80%, e são provenientes de atividades domésticas, como lavagem de roupas e louças, banhos e limpeza de pisos (Rapoport, 2013). Elas contêm resíduos de alimentos, produtos de limpeza e concentração de produtos tóxicos, mas possuem pouca matéria orgânica, facilitando seu tratamento e reutilização (Ourimadeiras, 2021). Microrganismos patogênicos, como a *Escherichia Coli*, comumente usada como indicador de contaminação fecal, podem ser encontrados nas águas cinzas (May, 2009). A composição das águas cinzas pode ser alterada pelo uso de produtos químicos não cotidianos (Adasa, 2023).

O tratamento adequado das águas cinzas é importante para garantir seu reuso seguro em atividades não potáveis, como irrigação de jardins e descarga de vasos sanitários (Silva e Pereira, 2021).

As *wetlands* termo em inglês que pode ser traduzido para o português como jardins alagados, brejos, pântanos, lagos rasos e manguezais, são sistemas naturais que utilizam plantas aquáticas para remover poluentes presentes na água. Os *wetlands* construídos procuram imitar as condições dos sistemas naturais. O uso deste sistema para o tratamento de águas cinzas é uma alternativa sustentável e eficiente, aplicável em residências, condomínios e outras edificações. Podem ser combinadas com outras tecnologias, como filtros de areia e sistemas de desinfecção, para garantir a qualidade da água tratada e são uma alternativa de baixo custo e fácil manutenção, podendo ser implementadas em diferentes escalas (Abreu, 2019).

O uso de espécies ornamentais em *wetlands* construídos tem ganhado destaque devido aos benefícios no tratamento de águas e na geração de lucro extra. Essas espécies contribuem para a remoção de poluentes, interagindo com o meio suporte, a água, os microrganismos e os contaminantes (Zanella, 2008). Diversas espécies vegetais podem ser aplicadas em *wetlands* construídos, como a *Typha latifolia* (Taboa) e o *Phragmites australis* (fora do Brasil). A escolha das espécies deve levar em consideração características como ciclo de vida perene, sistema radicular volumoso e extenso, capacidade de suportar ambiente alagado

e eutrofizado, elevada taxa de crescimento e propagação por rizomas, e facilidade de manejo (Zanella, 2008).

A utilização de espécies ornamentais e de interesse comercial em wetlands construídos pode trazer benefícios econômicos ao sistema, além de melhorar a aceitação da população. As espécies ornamentais se adaptam bem ao sistema de pós-tratamento, mostrando-se viáveis para sistemas de wetlands construídos (Zanella, 2008)

O efeito paisagístico proporcionado por essas plantas é um elemento de importância para diminuição de preconceito e rejeição do sistema pela população. Além disso, os wetlands construídos podem ser projetados para valorizar esteticamente o ambiente mediante a seleção de espécies de plantas ornamentais (Perondi et al, 2020).

No entanto, é importante notar que a escolha das espécies para uso em wetlands deve levar em consideração várias características, incluindo a capacidade de suportar ambientes alagados e eutrofizados, uma elevada taxa de crescimento e facilidade de manejo (Menezes, 2013).

O uso de *Zantedeschia aethiopica*, cujo nome popular é copo-de-leite, em wetlands construídos tem sido estudado devido aos seus benefícios no tratamento de águas e potencial para geração de lucro extra (Belmont e Metcalf, 2003). Esta planta é uma rizomatosa perene que é sempre verde onde a precipitação e as temperaturas são adequadas, e decídua onde há uma estação seca. Seu habitat preferido é em riachos e lagoas ou nas margens de áreas alagadas. A *Zantedeschia aethiopica* tem sido utilizada em wetlands construídos para o tratamento de águas cinza (Menezes, 2013) e em sistemas de pós-tratamento de efluentes sanitários (Zanella, 2008). Ela tem mostrado eficácia no tratamento de águas residuais em condições climáticas áridas e mediterrâneas (Vera-Puerto et al, 2021).

A escassez de água potável e a poluição hídrica são problemas globais que exigem soluções sustentáveis. O tratamento adequado das águas cinzas, incluindo o uso de *wetlands*, apresenta benefícios significativos, como a preservação dos recursos hídricos, a economia de água e a redução da poluição.

Essas soluções podem ser adotadas em diferentes contextos, contribuindo para um futuro mais sustentável e consciente em relação ao uso da água.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é avaliar a eficácia do uso da espécie *Zantedeschia aethiopica* (copo de leite) em *wetlands* construídos no tratamento de águas cinzas provenientes de máquinas de lavar roupas.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar a composição das águas cinzas geradas por máquinas de lavar roupas;
- Investigar a capacidade da espécie *Zantedeschia aethiopica* em remover poluentes presentes nas águas cinzas;
- Avaliar a eficiência do tratamento utilizando *wetlands* com *Zantedeschia aethiopica* em relação aos parâmetros de qualidade estabelecidos para o reuso de água;
- Discutir a viabilidade técnica e econômica do uso de *wetlands* com *Zantedeschia aethiopica* no tratamento de águas cinzas provenientes de máquinas de lavar roupas.

3 JUSTIFICATIVA

A água é um recurso essencial para a vida humana e sua preservação é crucial para a sustentabilidade do planeta. No entanto, o uso excessivo e a má

gestão desse recurso têm levado à escassez e poluição das fontes de água. As águas cinzas, provenientes do uso doméstico, apresentam um grande potencial para o reuso, principalmente em atividades que não exigem água potável.

Nesse sentido, o tratamento de águas cinzas pode ser uma solução sustentável para o reuso da água. Dentre as técnicas utilizadas, o uso de *wetlands* construídos destacado como uma alternativa promissora. A *Zantedeschia aethiopica* é uma planta que possui propriedades capazes de remover poluentes presentes nas águas cinzas, pois pode ser cultivada em locais encharcados, além de ser uma alternativa de fonte de renda pelo alto valor das flores no mercado.

O desperdício de água nas máquinas de lavar roupas é uma questão relevante, uma vez que esses equipamentos consomem grande quantidade de água (aproximadamente 100 litros) durante sua operação. Assim, o reuso ou o tratamento parcial das águas cinzas provenientes de máquinas de lavar pode contribuir significativamente para a redução do desperdício de água, promovendo a sustentabilidade ambiental e econômica.

4 CONCEITOS GERAIS E REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Água – Um recurso finito

A água é um recurso vital para a vida e o desenvolvimento humano, sendo empregada em uma variedade de atividades, incluindo abastecimento público, agricultura e indústria. Contudo, a poluição da água é um problema sério que impacta sua qualidade e disponibilidade. De acordo com o Instituto Trata Brasil, cerca de 35 milhões de brasileiros não têm acesso à água potável em suas casas, e quase metade da população brasileira não tem acesso a saneamento básico adequado (Instituto Trata Brasil, 2021).

A poluição da água, originada de várias fontes, incluindo atividades humanas e naturais, é invisível, mas seus efeitos são devastadores. Os

principais poluentes da água incluem bactérias, vírus, parasitas, fertilizantes, pesticidas, medicamentos, nitratos, fosfatos, plásticos, resíduos fecais e substâncias radioativas (FUNASA, 2002). Além da poluição, o desperdício de água é outro problema que afeta sua disponibilidade. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), cerca de 35% da água tratada no mundo é perdida antes de chegar ao consumidor final (ONU, 2021).

Conforme o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2019) do Ministério do Desenvolvimento Regional, o consumo médio de água potável no Brasil em 2019 foi de 162,6 litros por habitante por dia, variando consideravelmente entre as diferentes regiões e estados sendo que na Tabela 1 apresenta os dados de consumo médio por habitante em litros por dia em cada estado brasileiro.

Tabela 1 - Consumo médio de água em litros por habitante por dia por estados brasileiros

Estado	Consumo médio (litros/hab./dia)
Acre	108,4
Alagoas	93,5
Amapá	151,8
Amazonas	128,4
Bahia	123,2
Ceará	111,8
Distrito Federal	337,3
Espírito Santo	162,5
Goiás	200,2
Maranhão	91,5
Mato Grosso	172,3
Mato Grosso do Sul	174,7
Minas Gerais	159,7
Pará	119,2
Paraíba	91,9
Paraná	156,9
Pernambuco	106,2

Piauí	66,7
Rio de Janeiro	171,6
Rio Grande do Norte	113,7
Rio Grande do Sul	162,4
Rondônia	162,1
Roraima	118,7
Santa Catarina	147,2
São Paulo	185,6
Sergipe	123,3
Tocantins	167,7

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2021)

O índice médio de perdas de água tratada no Brasil em 2019 foi de 38,5%, considerando perdas reais e aparentes, variando significativamente entre as diferentes localidades do país (SNIS, 2019). Esse índice considera as perdas reais (vazamentos e falhas nos hidrômetros) e as perdas aparentes (fraudes e erros de medição), sendo que os índices de perda de água estão na Tabela 2.

Tabela 2 - Perdas de água tratada

Causa das Perdas de Água Tratada	Percentual de Perda
Vazamentos nas Redes de Distribuição	37 %
Perdas na Distribuição	30 %
Vazamentos nas Instalações Comerciais e Industriais	5 %
Perdas em Processos Industriais	3 %
Evaporação e Transpiração nos Sistemas de Irrigação	10 %
Perdas em Sistemas de Tratamento e Distribuição	8 %
Outras Perdas	7 %

Fonte: SNIS (2021)

A gestão da água enfrenta vários desafios, incluindo escassez em algumas regiões, contaminação por poluentes, desperdício e falta de saneamento básico. Diante desses desafios, a gestão sustentável da água se

torna fundamental. A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), criada em 1997, é uma das principais iniciativas do governo brasileiro voltadas para a gestão dos recursos hídricos. O reuso de água é uma alternativa para a gestão eficiente desse recurso, podendo reduzir em até 50% a demanda por água potável em algumas regiões do mundo, de acordo com a ONU (2019).

4.2 Reuso de águas cinzas

A reutilização das águas cinzas tem ganhado destaque devido ao seu potencial para mitigar as limitações hídricas em áreas urbanas com alta demanda por água e oferta limitada. Um estudo em João Pessoa - PB demonstrou a eficiência de um sistema de filtração usando areia e materiais biossorventes para tratar águas cinzas de domicílios (Figueiredo e Sousa, 2018).

A qualidade das águas cinzas deve ser verificada com base nos poluentes presentes, e os resultados devem ser avaliados conforme os parâmetros da norma ABNT NBR 16783 (Lima, 2018). Existem diferentes tipos de reuso de águas cinzas, desde o reuso direto, em que a água é tratada e reutilizada no local, até o reuso indireto, onde a água é descartada no meio ambiente e depois captada e tratada (CETESB, 2013).

É essencial considerar a qualidade da água e o tipo de reuso para garantir a eficácia e segurança do processo (Moura et al., 2020). Além das aplicações domésticas, as águas cinzas tratadas podem ser utilizadas na agricultura, especialmente em áreas com limitações hídricas, como o Semiárido brasileiro (EMBRAPA, 2023).

O destaque para o reuso das águas cinzas provenientes de máquinas de lavar roupas se dá pela economia de água potável. A água de enxágue pode ser coletada e reutilizada para fins não potáveis, como descarga de vasos sanitários ou limpeza de calçadas (Gonçalves, 2006). O processo de tratamento das águas cinzas varia de acordo com a fonte e finalidade do efluente, geralmente envolvendo etapas de filtração e desinfecção (Figueiredo et al, 2018).

4.3 Composição das águas cinzas de uma máquina de lavar roupas

O uso de água em máquinas de lavar roupas é um tema relevante em relação ao consumo e desperdício de água em residências. Estudos indicam que as lavadoras variam consideravelmente em seu consumo por ciclo: lavadoras menores, de até 10 kg, consomem de 82 a 135 litros de água por ciclo, enquanto as de 11 a 12 kg consomem de 82 a 168 litros, e aquelas de até 17 kg chegam a utilizar de 98 a 197 litros por ciclo (Ypê, 2023). A Agência Nacional de Águas (ANA) revela que o consumo per capita de água em lavagem de roupas no Brasil é de aproximadamente 3,5 litros por dia, considerando uma média de 2,5 ciclos de lavagem por semana por pessoa.

A água cinza proveniente de máquinas de lavar roupas normalmente contém uma mistura de água, detergentes, sujeira e pequenas quantidades de fibras de tecido. Além disso, pode conter compostos provenientes do uso de sabão, detergentes, óleos, sujidades e corantes usados na lavagem das roupas (Bezerra et al, 2016)

Em geral, as águas cinzas contêm uma quantidade significativa de sólidos em suspensão, como evidenciado pelos resultados de turbidez e pela concentração de sólidos suspensos totais. Um exemplo de material sólido encontrado nas águas cinza de máquinas de lavar roupas são os resíduos de fibras de tecidos. Esses e outros materiais em suspensão dão ao efluente uma aparência desagradável, o que pode levar à rejeição por parte dos usuários se o reuso for feito sem tratamento adequado (Cintra, 2019).

Vários compostos provenientes do uso de sabão, detergentes, óleos, sujeiras e corantes usados na lavagem das roupas se tornam parte do efluente altamente colorido gerado no final do processo. Se não for bem gerenciado, isso pode comprometer a qualidade de corpos d'água como rios e lagos, resultando em consequências negativas para o meio ambiente e para os seres humanos. Portanto, é necessário remover esses compostos antes de descartá-los em um corpo receptor (Martins et al, 2021).

A concentração de produtos químicos é alta devido aos sabões usados que contêm sódio, fosfato, boro, surfactantes, amônia e nitrogênio. Eles apresentam sólidos em suspensão e turbidez elevada e a demanda por oxigênio por ser alta, pode causar danos ambientais e à saúde se for descartada no solo sem tratamento (Silva, Menelau e Ribeiro, 2021)

De acordo com Soethe (2013), os principais impactos ambientais resultantes do processo de lavagem incluem o consumo de recursos naturais (por exemplo, água) e o uso de recursos sintéticos (por exemplo, sabão em pó e amaciantes), além da geração de efluentes líquidos com tensoativos.

Os microplásticos, partículas plásticas de tamanho reduzido (inferior a 5 mm), têm despertado crescente preocupação na poluição ambiental. As máquinas de lavar roupas são uma fonte significativa de microplásticos, já que tecidos sintéticos, como náilon, poliéster e acrílico, liberam fibras microplásticas durante a lavagem (Soares, 2023).

Estima-se que a cada lavagem sejam liberados mais de 1.900 pedaços de fibra na água em uma máquina de seis quilos (Lima, 2022). Essas fibras, de tamanho muito reduzido, para serem capturadas pelos filtros das máquinas de lavar, acabam nos sistemas de esgoto e, eventualmente, nos corpos d'água (Galvão, 2019; Soares, 2023).

4.4 Tratamento das águas cinzas

O tratamento e reutilização das águas cinzas, efluentes provenientes de chuveiros, máquinas de lavar roupa e lavatórios de banheiro, têm se tornado cada vez mais cruciais diante da crescente escassez de água e da busca por práticas sustentáveis (Passos, Brandão e Carvalho, 2021).

Dentre as tecnologias disponíveis, os processos de separação com membranas destacam-se, gerando água de alta qualidade para reuso (Rampelotto, 2018). Esse reuso, após o tratamento, pode abranger diversas aplicações, como descargas de vasos sanitários, lavagem de carros, irrigação

de jardins e limpeza de pisos, contribuindo significativamente para reduzir a demanda por água potável em edificações, chegando a uma redução de 30 a 60% (Sella, 2019).

Um estudo recente realizado por Rodrigues et al. (2021) abordou o tratamento das águas cinzas provenientes de máquinas de lavar roupas. Avaliando o uso de coagulantes químicos e naturais, os resultados indicaram que a *Moringa oleífera*, um coagulante natural, é eficaz na redução da turbidez, viabilizando assim o reuso residencial dessa água.

No contexto nacional, algumas cidades já estabeleceram legislações para o reuso de água. Por exemplo, Niterói, no Estado do Rio de Janeiro, através da Lei Municipal nº 2.856/2011, estende as obrigações da lei nº 2.630, de 07 de janeiro de 2009, instituindo mecanismos de estímulo à instalação de sistemas de coleta e reutilização de águas servidas em edificações públicas e privadas. Essa legislação exige o reuso das águas cinzas em novos empreendimentos com consumo superior a 20 m³ de água por dia. Recentemente, o governo federal promulgou a Lei nº 14.546, de 4 de abril de 2023, incentivando o reuso das águas cinzas em nível nacional.

4.5 Wetlands: Natureza e Construção para o Tratamento de Águas

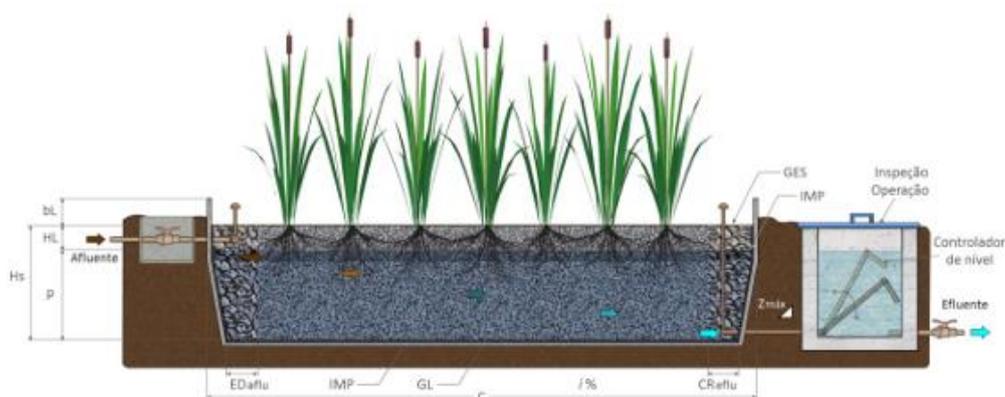
Wetlands termo em inglês, são áreas úmidas naturais onde ocorre a transição entre ambientes aquáticos e terrestres, reconhecidas como um rico habitat para diversas espécies e capazes de melhorar a qualidade das águas. Os brejos, pântanos, lagos rasos e manguezais são alguns exemplos desses tipos de ambiente (Campos, 2018).

Em contrapartida, os wetlands construídos são reatores projetados para aprimorar esses fenômenos naturais, empregando critérios de engenharia, química e biologia. Eles são otimizados para gerenciar a poluição e se tornam soluções baseadas na natureza (Equipe Wetlands, 2023). Existem diferentes tipos de wetlands construídos, mas os mais usados são:

- Wetland construído de escoamento horizontal subsuperficial:

- *Wetland construído de escoamento horizontal subsuperficial: o líquido a ser tratado passa por uma zona de entrada, escoando vagarosamente pelo material filtrante até atingir a zona de saída. O escoamento acontece em um meio saturado hidraulicamente” que está representado na Figura 2. (Von Sperling; Sezerino, 2018).*

Figura 2 - Esquema representativo do perfil longitudinal do wetland construído de escoamento horizontal subsuperficial.



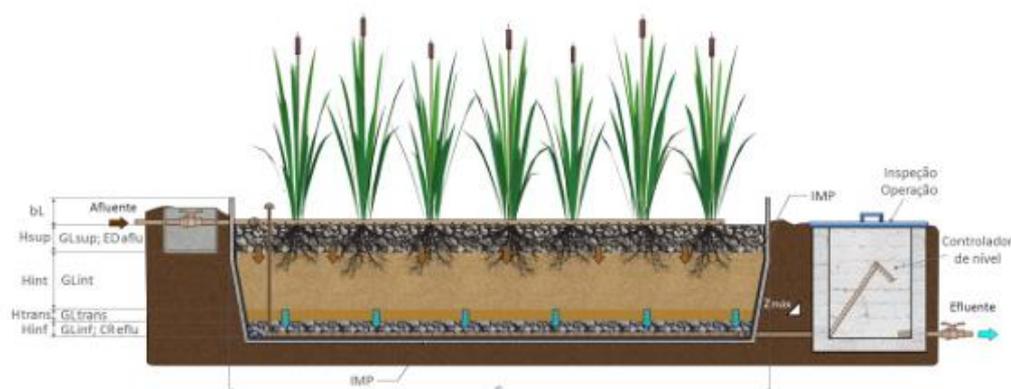
Legenda:

<p>Hs - altura do meio suporte; p - profundidade útil do líquido; HL - distância vertical entre o nível superior do esgoto e o topo do meio suporte; Hs - altura do meio suporte (substrato); bL - borda livre; distância vertical entre o nível superior do meio suporte e o topo do talude ou parede. C - comprimento longitudinal; Zmáx - declividade máxima do talude interno (quando necessário);</p>	<p>IMP - impermeabilização (fundo e laterais); GES - granulometria da zona de entrada e saída; GL - granulometria do leito filtrante; ED aflu - zona de entrada e distribuição do afluente; CR eflu - zona de coleta e retirada do efluente; i % - declividade longitudinal de fundo.</p>
--	--

Fonte: Von Sperling e Sezerino (2018)

- **Wetland construído de escoamento vertical**
 - *“Wetland construído de escoamento vertical: o líquido é distribuído uniformemente sobre a área superficial do módulo de tratamento, percolando em trajetória descendente por entre o sistema radicular das plantas e poros do material filtrante, com predominância de condições aeróbias no leito filtrante”, representado na Figura 3. (Von Sperling; Sezerino, 2018).*

Figura 3 - Esquema representativo do perfil longitudinal do wetland construído de escoamento vertical.



Legenda:

Hsup - altura da camada superior do meio suporte (camada opcional);	GLsup - granulometria do leito na camada superior do meio filtrante;
Hint - altura da camada intermediária, principal, de filtração;	GLint - granulometria do leito na camada intermediária, principal, de filtração;
Htrans - altura da camada de transição;	GLtrans - granulometria do leito na camada de transição;
Hinf - altura da camada inferior, de drenagem;	GLinf - granulometria do leito na camada inferior, de drenagem;
bL - borda livre; distância vertical entre o nível superior do meio suporte e o topo do talude ou parede	ED aflu - zona de entrada e distribuição do afluente, na camada superior do meio filtrante;
C - comprimento;	CR eflu - zona de coleta e retirada do efluente na camada de drenagem, no fundo.
Zmáx - declividade máxima do talude (quando necessário);	
IMP - impermeabilização (fundo e laterais);	

Fonte: Von Sperling e Sezerino (2018)

A combinação de diferentes tipos de wetlands, como um sistema híbrido construído de fluxo vertical seguido por um de fluxo horizontal, oferece mais flexibilidade e proporciona efluentes de qualidade superior (Begosso et al, 2009). O tratamento combinado de fluxo horizontal e vertical mostrou-se eficiente para remover turbidez e coliformes fecais, atendendo aos padrões de qualidade estabelecidos (Monteiro, 2009).

Os wetlands construídos mostram-se eficientes na remoção de matéria orgânica, sólidos suspensos, nutrientes e organismos patogênicos. São versáteis, com várias técnicas de construção e manejo, capazes de tratar diferentes tipos de efluentes (Von Sperling e Sezerino, 2018). Estes sistemas têm um custo de implantação, operação e manutenção consideravelmente mais baixo em comparação com métodos convencionais de tratamento de água. São alternativas de baixo custo para a fitoremediação de águas residuárias

domésticas e têm sido empregados também para tratamento de efluentes agrícolas e de produção animal (Buller, Teixeira e Ortega, 2011).

O tratamento realizado por wetlands se baseia nas interações que envolvem o solo, a vegetação e os micro-organismos presentes neste tipo de sistema promovendo diversos processos físicos e biológicos como adsorção, precipitação, nitrificação, decomposição, filtração física e biológica, que é realizada pelo biofilme bacteriano aderido ao meio suporte e raízes da macrófita (Campos, 2018).

Os tempos de detenção hidráulica (TDH) que são os tempos em que o o efluente bruto fica na unidade de tratamento, em wetlands para o tratamento de águas cinzas variam bastante, dependendo de vários fatores, incluindo o tipo de wetland, as condições ambientais e a qualidade da água cinza. Em um estudo realizado por Mello (2016), os sistemas foram operados com TDH de 24 h, 48 h e 72 h. Begosso, 2009 avaliou um estudo em que o TDH estava na faixa de 1,9 dias.

4.6 Uso da espécie *Zantedeschia aethiopica* (Copo de Leite) em wetlands

A espécie *Zantedeschia aethiopica* Figura pertence ao reino *Plantae*, ao clado das Angiospermas, à família *Araceae* e ao gênero *Zantedeschia*, (Reflora, 2023). Na sua forma nativa ocorre em terrenos úmidos ou na margem de lagos. Possui folhas verdes, de aspecto brilhante, com hábito de crescimento formando touceiras. É uma herbácea robusta, entouceirada de 0,60 a 1,0 m de altura, rizoma vigoroso e muito florífera (Lorenzi e Souza, apud Monteiro 2007)

Figura 4 - *Zantedeschia aethiopica*

Fonte: www.plantsam.com (2023)

Os idioblastos são células que contêm vacúolos com substâncias especiais, sendo os mais conhecidos aqueles que contêm cristais de oxalato de cálcio, uma substância derivada do metabolismo secundário das células de parênquima. Esses cristais podem formar drusas, ráfides e monocristais. No caso da *Zantedeschia aethiopica*, os idioblastos com ráfides são frequentemente encontrados em todos os tecidos foliares, principalmente no parênquima clorofiliano paliádico (Perin, 2019).

Em uma intoxicação, as ráfides e os cristais são expulsos dos órgãos da planta e perfuram as camadas da pele e dos olhos. Se a planta é ingerida, esses cristais podem causar edema na garganta e asfixia. Portanto, apesar de sua popularidade como planta ornamental, é importante ter cuidado ao manusear a *Zantedeschia aethiopica*, especialmente em ambientes onde crianças ou animais possam ter acesso a ela (Rocha, Pegorini e Maranhão, 2006).

No contexto de tratamento de águas cinzas, estudos como o de Poças (2015) destacam a capacidade da *Zantedeschia aethiopica* em wetlands construídas para atuar como sistema de tratamento de nível terciário, removendo nutrientes comuns, como nitrogênio e fósforo, presentes nessas águas residuais.

Essa espécie tem a capacidade de absorver esses nutrientes e transformá-los em biomassa, contribuindo significativamente para a despoluição da água.

Um estudo de Belmont e Metcalf (2023) demonstrou altas taxas de remoção de nitrogénio, DQO e surfactantes de etoxilato de nonilfenol (NPEO) nas wetlands com *Zantedeschia aethiopica* comparadas com as zonas não plantadas. A presença da planta influenciou significativamente a taxa de remoção de nitrogénio, mas não a taxa de remoção de DQO ou surfactantes de etoxilato de nonilfenol (NPEO). Esses resultados indicaram a viabilidade do uso de plantas ornamentais, como o copo-de-leite, em wetlands para o tratamento de águas residuais, contribuindo para a proteção da vida aquática.

4.7 Avaliação e monitoramento do tratamento de água

A legislação brasileira sobre o reuso de águas cinzas tem sido objeto de atenção recente. A Lei 14.546/23 de 04 de abril de 2023, publicada no Diário Oficial da União, estabelece a obrigatoriedade de estimular o uso de água das chuvas e o reaproveitamento não potável das águas cinzas em edificações. Segundo a lei, a prática deve ser estimulada em novas edificações e em atividades paisagísticas, agrícolas, florestais e industriais. A norma altera a Lei do Saneamento Básico e determina que os reservatórios destinados a acumular águas das chuvas e águas cinzas devem ser distintos da rede de água proveniente do abastecimento público e também determina que essas águas devem passar por processo de tratamento que assegure a utilização segura, previamente à acumulação e ao uso na edificação.

A Resolução CONAMA nº 430/2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), dispõe sobre as condições, parâmetros, padrões e diretrizes para o lançamento de efluentes em corpos de água. Essa resolução altera e complementa a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA. A água resultante dos processos industriais, conhecida como efluente industrial, deve passar por tratamento antes de ser devolvida aos corpos hídricos, como rios e lagos. Esse tratamento é importante para eliminar ou

neutralizar substâncias que possam alterar as características dos corpos de água onde esse efluente for despejado.

A Resolução CONAMA nº 430/2011 também estabelece padrões para o lançamento de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários e lançamento de esgotos sanitários cujos limites estão na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros permitidos para lançamento de efluentes em corpos hídricos

Parâmetro	Limites
pH	5 a 9
Temperatura	Inferior a 40°C
Materiais sedimentáveis	até 1 mL/L (em teste de 1 hora em cone Imhoff)
Óleos minerais	Até 20 mg/L
Óleos vegetais	Até 50 mg/L
Materiais flutuantes	Ausência
DBO _{5/20}	Remoção mínima de 60%

Fonte: Autor (adaptado de CONAMA 430/2011)

4.7.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O Potencial Hidrogeniônico, mais conhecido como pH, é uma medida que indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma solução. Ele é determinado pelo equilíbrio entre íons H⁺ e íons OH⁻. O pH da água pode ter impactos significativos nos processos de tratamento e na saúde dos ecossistemas aquáticos (Barreto & Medeiros, 2023). As águas cinzas podem ter um pH variável, dependendo dos detergentes e produtos químicos utilizados. A maioria dos produtos químicos utilizados na lavagem de roupas possuem

materiais alcalinos em sua composição, os quais interferem diretamente no pH do efluente (Cruz, 2021).

4.7.2 Sólidos Totais

Os sólidos totais refletem a quantidade total de matéria sólida suspensa e dissolvida na água. Em contextos de tratamento de águas cinzas, como provenientes de máquinas de lavar, esses sólidos são cruciais (Barreto & Medeiros, 2023). Podem incluir fibras de tecido, partículas de sujeira e resíduos de detergentes, impactando a qualidade da água e eficácia do tratamento. Altas concentrações de sólidos interferem em reações químicas, podendo causar obstruções em sistemas de tratamento (Barreto & Medeiros, 2023; Gonçalves & Mendes, 2023).

4.7.3 Turbidez

A turbidez, medida das partículas em suspensão na água, desempenha papel crucial no tratamento de águas cinzas (Barreto & Medeiros, 2023). Partículas como algas, sedimentos e contaminantes podem tornar a água turva, afetando seu uso (Lima & Mannich, 2017). Em tratamentos com wetlands, o pH e a turbidez são parâmetros cruciais para a eficácia do processo (Gonçalves & Mendes, 2023).

No tratamento de águas cinzas, a turbidez é um parâmetro crucial para avaliar a eficiência do processo. Por exemplo, um estudo realizado por Chrispim (2014) mostrou que a eficiência de remoção de turbidez foi de 66% no ponto final do tratamento de águas cinzas. Outro estudo destacou a importância da remoção da turbidez no tratamento de águas e efluentes, associando-a a parâmetros físico-químicos básicos como pH e alcalinidade da água bruta (Junho, 2020).

4.7.4 Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido e a condutividade elétrica são parâmetros fundamentais para avaliar a eficiência do tratamento de águas cinzas. O oxigênio dissolvido é crucial para a estabilização biológica das substâncias orgânicas presentes na água, um processo que ocorre em duas fases e é essencial para a qualidade da água tratada (Rapoport, 2023). Além disso, a presença de oxigênio dissolvido é essencial para a subsistência de organismos aquáticos e auxilia na decomposição natural da matéria orgânica (Embrapa, 2019).

4.7.5 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica é um indicador da presença de íons na água, que podem ser prejudiciais para certos usos da água, como a irrigação. Quanto maior o conteúdo salino de uma solução, maior será a condutividade elétrica (Baracuhy, 2014). Em um estudo Lemke-de-Castro et al (2012) mostrou que a condutividade elétrica pode ser usada como um único parâmetro para controlar a qualidade das águas cinzas, sendo sensível à variação dos principais parâmetros físico-químicos.

4.7.6 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5/20})

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5/20}) é um parâmetro usado para medir a quantidade de matéria orgânica biodegradável presente na água. No tratamento de águas cinzas com wetlands, ela é um indicador importante da eficácia do processo de tratamento. O teste mede a quantidade de oxigênio necessária pelos microorganismos para decompor a matéria orgânica na água. Uma redução nos níveis indica que o processo de tratamento com wetlands está removendo efetivamente a matéria orgânica das águas cinzas, tornando-as mais seguras para reutilização ou descarga no meio ambiente (Poças, 2015).

5 METODOLOGIA

Para este estudo foram construídas estações experimentais em escala laboratorial, que simularam um wetland, com a planta *Zantedeschia aethiopica*, sendo testados os parâmetros de pH, sólidos totais, turbidez, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e DBO_{5/20}, pois eram os testes possíveis de serem feitos dentro da Universidade. Foram montadas dentro do prédio do Laboratório de Química da Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul nos meses de setembro e outubro de 2023.

5.1 Construção e configuração do protótipo

Neste estudo, foram empregadas 6 caixas plásticas com 58 cm de comprimento por 40 cm de largura e 35 cm de altura. Todas as caixas foram preenchidas com brita nº 1, que foram usadas como substrato por ser um material inócuo e de baixo custo (Belmont e Metcalf, 2003), que foram lavadas em um primeiro momento usando uma peneira, na pia do laboratório e num segundo e terceiro momento, foram lavadas nas próprias caixas, antes da colocação do efluente bruto. A brita foi colocada deixando livre uma borda superior em torno de 8 a 10 cm, para evitar o transbordamento do efluente bruto. Em todas as caixas, foram instalados canos de PVC de 25mm, perfurados com uma broca 8 mm e torneiras para permitir a drenagem conforme Figuras 5, 6 e 7.

Figura 6 - Lavagem da brita



Fonte: Autor (2023)

Figura 5 - Tubos de drenagem



Fonte: Autor (2023)

Figura 7 - Caixa com torneira



Fonte: Autor (2023)

O experimento foi pago com recursos próprios sendo que na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** estão os valores dispendidos para a montagem do protótipo.

Tabela 4 – Custo de construção do protótipo (valores expressos em reais)

Produto	Quantidade	Valor unitário	Valor total
Caixa plástica	6	39,60	237,60
Joelho 25 mm	24	1,00	24,00
Tês 25 mm	6	1,25	9,00
Luva 25mmx1/2	6	3,00	18,00
Torneira jardim	6	3,9	23,40
Cano 25 mm	8 m	4,00/m	32,00
Tubo de silicone 50g	1	7,99	7,99
Brita nº 1	0,30 m ³	150,00/m ³	45,00
Custo total			396,99

Fonte: Autor (2023)

5.2 Montagem do experimento

5.2.1 Coleta e preparação das plantas

As plantas, com altura média entre 40 a 45 cm, foram gentilmente doadas por uma moradora e obtidas de um terreno localizado na cidade de Caçapava do Sul (Figura 8).

Figura 8 - Local de coleta das plantas



Fonte: Autor (2023)

Após a coleta, foram transportadas para o laboratório sendo higienizadas com água corrente para remover terra, minhocas, lesmas, pedras e raízes de outras plantas que estavam emaranhadas em suas raízes (Figura 9). Em seguida, foram plantadas seis mudas, respeitando um espaçamento entre elas, em cada uma das caixas designadas para o grupo de plantas. Para garantir a estabilidade das plantas, foram fixadas estacas de madeira e amarradas com barbante. Foi adicionado água potável até um nível de 1 cm acima das raízes (Figura 10). Algumas plantas precisaram ser substituídas, pois não se adaptaram bem ao sistema. Após um período de aclimação de duas semanas, as plantas estavam prontas para receber o efluente bruto.

Figura 9 - Lavagem das plantas



Fonte: Autor (2023)

Figura 10 - Visão do nível de água nas caixas



Fonte: Autor (2023)

O primeiro grupo, denominado grupo plantas, foi composto por três caixas, cada uma contendo 6 mudas de *Zantedeschia aethiopica*. O segundo grupo, chamado grupo controle, consistiu em três caixas preenchidas exclusivamente com brita conforme Figura 11.

Figura 11 - Unidades de tratamento prontas



Fonte: Autor (2023)

5.2.2 Coleta do efluente bruto

O efluente bruto foi coletado (em torno de 108 litros) no primeiro ciclo de lavagem de calças jeans, camisetas, toalhas de mesa, roupas de cama, panos de prato, em uma máquina de 16 quilos Brastemp, que foi usada em sua capacidade total sendo adicionado o Sabão Líquido Brilhante Higiene Total, que contém em sua composição conforme rótulo: tensoativos aniônicos (ativos), estabilizantes, coadjuvantes, corantes, enzima, bicarbonato de sódio, branqueador óptico, fragrância, conservantes, água, ativos: linear alquil benzeno de sódio e lauril éter sulfato de sódio e também contém isotiazolinomas e tensoativos biodegradáveis (Figuras 12, 13 e 14). Não foi usado amaciante nem alvejante.

Figura 13 – Sabão líquido Brilhante



Figura 12 - Roupas que foram lavadas



Figura 14 - Efluente bruto coletado



Fonte: Autor (2023)

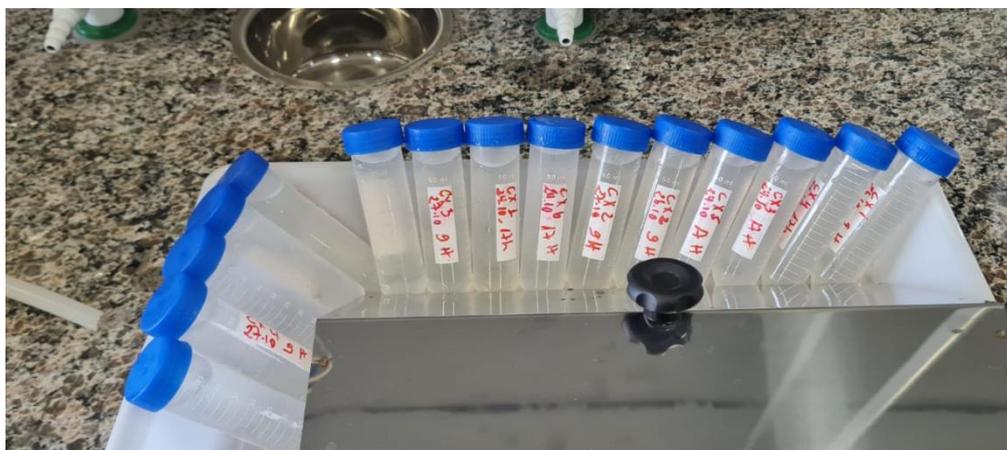
5.2.3 Adição do efluente bruto nas unidades

O efluente bruto coletado foi transportado para o laboratório, foi agitado para ser homogeneizado, sendo colocado em cada unidade 9 litros, sendo que antes foi retirada a água que dava suporte para as plantas. Sendo anotado o dia e hora da colocação. Foi feita a medição dos parâmetros no efluente bruto antes de ser colocado nas caixas.

5.2.4 Coleta e análise do efluente tratado

O efluente tratado foi coletado após períodos de detenção de 4, 8, 24, 48 e 72 horas, seguindo a metodologia proposta por Mello (2009). Em cada intervalo, foram coletados 100 ml de cada caixa. Imediatamente após a coleta, os parâmetros foram analisados utilizando os instrumentos disponíveis e os resultados foram registrados em uma planilha. Após cada análise, os instrumentos foram cuidadosamente lavados com água destilada para evitar qualquer interferência nas análises subsequentes. Dos 100 ml coletados, 50 ml foram armazenados em recipientes plásticos com tampa, devidamente rotulados com a data, o tempo de detenção e o número da caixa. Estes recipientes foram então armazenados no congelador para análises futuras de turbidez (Figura 15).

Figura 15 - Tubos plásticos com efluente tratado congelado



Fonte: Autor (2023).

5.3 Método de análise dos parâmetros

5.3.1 Potencial hidrogeniônico (pH)

Para a análise do pH das amostras de águas cinzas coletadas, foi utilizado um pHmetro microprocessado Alfakit AT – 355 .

5.3.2 Sólidos totais

Para a medição dos sólidos totais, foi utilizado um condutivímetro microprocessado de bancada Gehaka CG 1800.

5.3.3 Turbidez

Para a análise da turbidez, foi utilizado um turbidímetro HACH 2100N.

5.3.4 Oxigênio tissorvido (OD)

Para a análise do oxigênio dissolvido foi usado o oxímetro JPB-70 A.

5.3.5 Condutividade elétrica

Para a medição da condutividade elétrica foi utilizado um condutivímetro microprocessado de bancada Gehaka CG 1800.

5.3.6 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5/20})

Foi usado o método de incubação para a determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5/20}). A amostra de água é colocada em um frasco, envolvida em papel alumínio e incubada no forno a 20°C por 5 dias. Após o período de incubação, a concentração de OD é medida novamente e a diferença na concentração de OD antes e depois da incubação é usada para calcular a DBO_{5/20}.

5.4 Análise estatística dos resultados

Para avaliar a eficácia do tratamento com plantas em comparação com o controle sem plantas, utilizamos o "Teste t de Student para amostras independentes". Este teste é adequado quando se tem dois grupos independentes - neste caso, caixas com plantas e caixas sem plantas - e o objetivo é comparar suas médias. O Teste t de Student auxilia na determinação se a diferença observada entre as médias dos dois grupos é estatisticamente significativa ou se pode ter ocorrido por acaso (Demétrio, 2020).

Antes de aplicar o Teste t de Student, foi verificado se os dados atendiam às suposições do teste, que incluem normalidade e homogeneidade de variâncias. Quando estas suposições não foram atendidas, um teste não paramétrico, como o Teste t de Welch, pode ser utilizado (Rossetti, 2002).

Após a realização do teste estatístico, foi interpretado os resultados. Quando o valor p (probabilidade) foi menor que o nível de significância escolhido (geralmente 0,05), rejeitamos a hipótese nula de que não há diferença entre os grupos e concluímos que o tratamento com plantas tem um efeito significativo (Silva, 2010).

6 RESULTADOS

6.1 – Potencial Hidrogeniônico (pH)

O valor do efluente bruto foi de 7,34 sendo que na Tabela 4 estão os valores do efluente tratado.

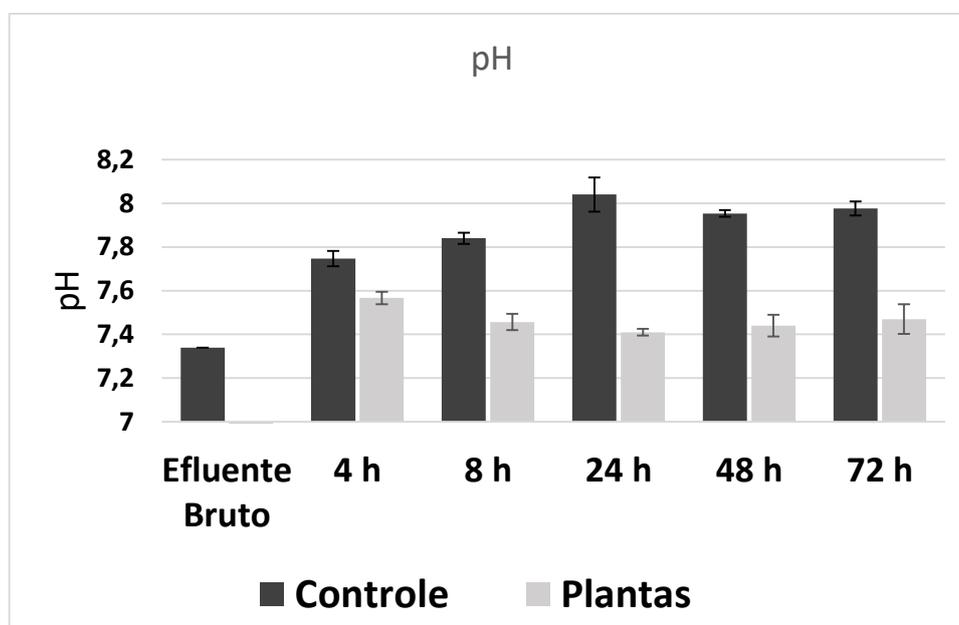
Tabela 5 - pH do efluente tratado

Caixa	4 horas detenção	8 horas detenção	24 horas detenção	48 horas detenção	72 horas detenção
Plantas	7,5	7,53	7,44	7,54	7,6
Plantas	7,6	7,46	7,41	7,44	7,48
Controle	7,68	7,81	7,9	7,96	7,95
Plantas	7,6	7,38	7,38	7,34	7,33
Controle	7,82	7,9	8,21	7,92	7,93
Controle	7,74	7,81	8,01	7,98	8,05

Fonte: Autor (2023)

Com base nos resultados obtidos das análises de pH, foi calculado a média do grupo plantas o do controle, gerando o Gráfico 1.

Gráfico 1 - pH



Fonte: Autor

Observa-se que em ambos os grupos, o pH do efluente tratado tende a aumentar em relação ao efluente bruto ao longo do tempo. O grupo controle mostra variações percentuais consistentemente maiores do que o grupo plantas, indicando um aumento mais expressivo no pH do efluente em diferentes períodos. Os valores do efluente tendem a aumentar em relação ao afluente (7,34) sendo que variou de 7,33 a 7,6 nas caixas com plantas e de 7,68 a 8,21 nas controle, ficando dentro dos padrões permitidos (5 a 9 para efluentes).

6.2 – Sólidos totais

O valor do efluente bruto foi de 168,6 mg/L, sendo que na Tabela 6 estão os valores de sólidos totais do efluente tratado.

Tabela 6 - Sólidos totais (mg/L)

Caixa	4 horas de detenção	8 horas de detenção	24 horas de detenção	48 horas de detenção	72 horas de detenção
Plantas	202	180	237	277	234
Plantas	305	245	284	277	319
Plantas	337	220	293	331	353
Controle	161	189	168,4	200	205
Controle	169	184,2	171,3	202	218
Controle	161,3	197,9	172,1	212	212

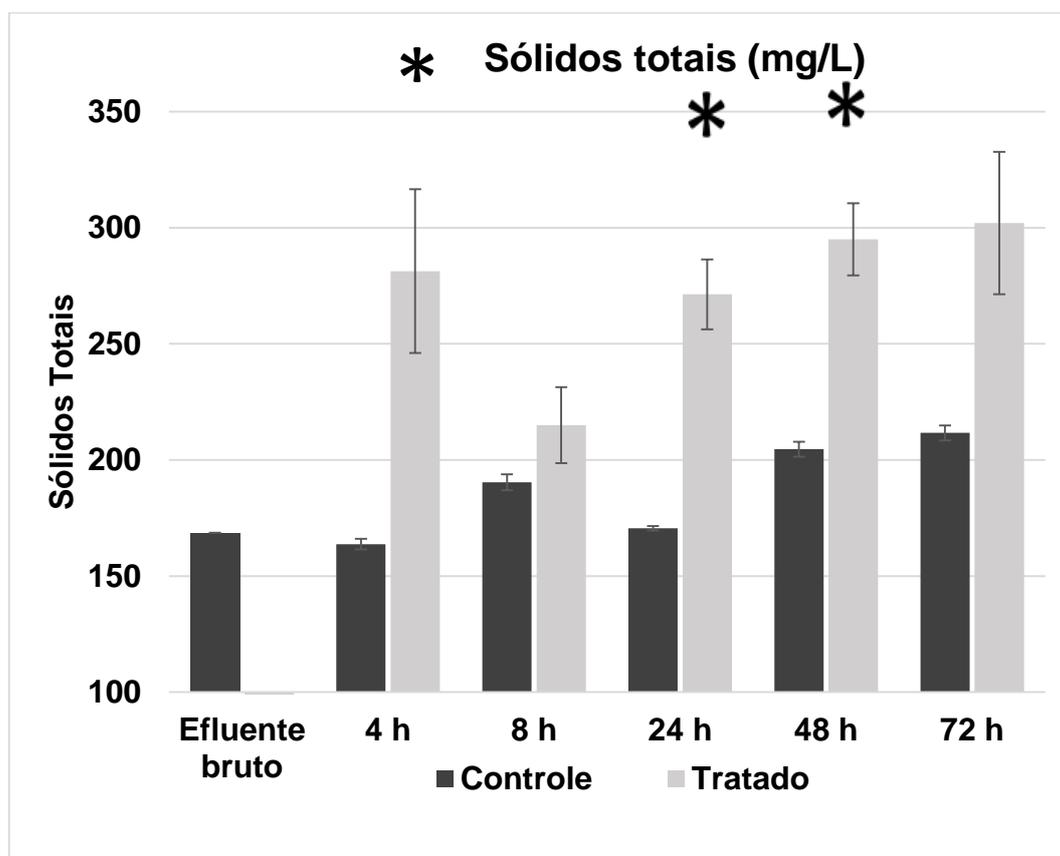
Fonte: Autor (2023)

Para os períodos de detenção de 4, 24 e 48 horas, há uma diferença significativa entre as médias dos grupos plantas e controle, sugerindo que as plantas podem ter um efeito benéfico no tratamento das águas cinzas durante esses períodos. No entanto, para os períodos de detenção de 8 e 72 horas, não há uma diferença significativa entre as médias dos dois grupos. Além disso, para

os períodos de detenção de 4, 24 e 48 horas, o pressuposto da homogeneidade de variâncias foi violado, o que pode afetar a precisão dos resultados do teste t de Student.

Com base nos resultados obtidos das análises de sólidos totais, foi calculado a média do grupo plantas o do controle, gerando o Gráfico 2.

Gráfico 2 - Sólidos totais do efluente tratado (mg/L)



*indica diferença significativa entre os dados do mesmo período de tempo, considerando $p < 0,05$, dentro do teste t de Student.

Fonte: Autor (2023)

O grupo plantas apresenta variação percentual significativamente maior em relação ao efluente bruto em todos os momentos, sugerindo uma contribuição mais substancial das plantas no aumento dos sólidos totais em comparação com o grupo controle.

O efluente bruto tinha 44,4 (NUT) e o grupo plantas variou de 13,4 a 52,2 e o grupo controle de 14,9 a 36,5. O grupo plantas apresentou uma eficiência de 48,17% e o grupo controle de 34,15%, significando que as plantas foram eficientes na diminuição da turbidez.

6.3 – Turbidez

O valor do efluente bruto foi de 44,4 (NUT) sendo que na Tabela 7 estão os valores do efluente tratado.

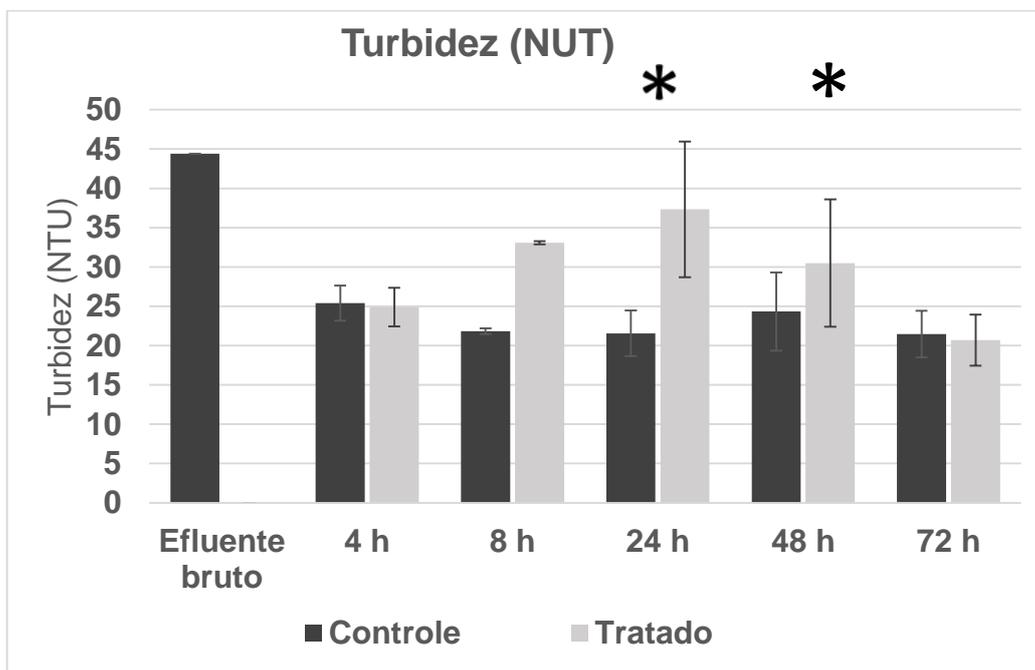
Tabela 7 - Turbidez do efluente tratado (NTU)

Caixa	4 horas de detenção	8 horas de detenção	24 horas de detenção	48 horas de detenção	72 horas de detenção
Plantas	24,00	33,0	18,4	16,1	13,4
Plantas	20,5	33,5	41,4	27,4	22,9
Plantas	30,2	32,7	52,2	48,0	25,8
Controle	28,8	21,1	15,1	15,5	14,9
Controle	27,1	21,8	23,2	35,1	36,5
Controle	20,3	21,6	26,4	22,4	23,0

Fonte: Autor (2023)

Com base nos resultados obtidos das análises de turbidez, foi calculado a média do grupo plantas o do controle, gerando o Gráfico 3.

Gráfico 3 - Turbidez do efluente tratado (NUT)



*indica diferença significativa entre os dados do mesmo período de tempo, considerando $p < 0,05$, dentro do teste t de Student.

Fonte: Autor (2023)

Observa-se redução da turbidez em relação ao valor inicial do efluente bruto em ambos os grupos. O grupo plantas mostra redução um pouco mais acentuada, especialmente em 72 horas.

O efluente bruto tinha 44,4 e o efluente tratado variou de 13,4 a 52,2 e controle de 14,9 a 36,5. O grupo tratado apresentou uma eficiência de 48,17% e o controle de 34,15%, significando que as plantas foram eficientes na diminuição da turbidez. Não existem parâmetros de turbidez na legislação federal.

6.4 – Oxigênio dissolvido

O valor do efluente bruto foi de 12,6 mg/L sendo que na Tabela 8 estão os valores de oxigênio dissolvido do efluente tratado.

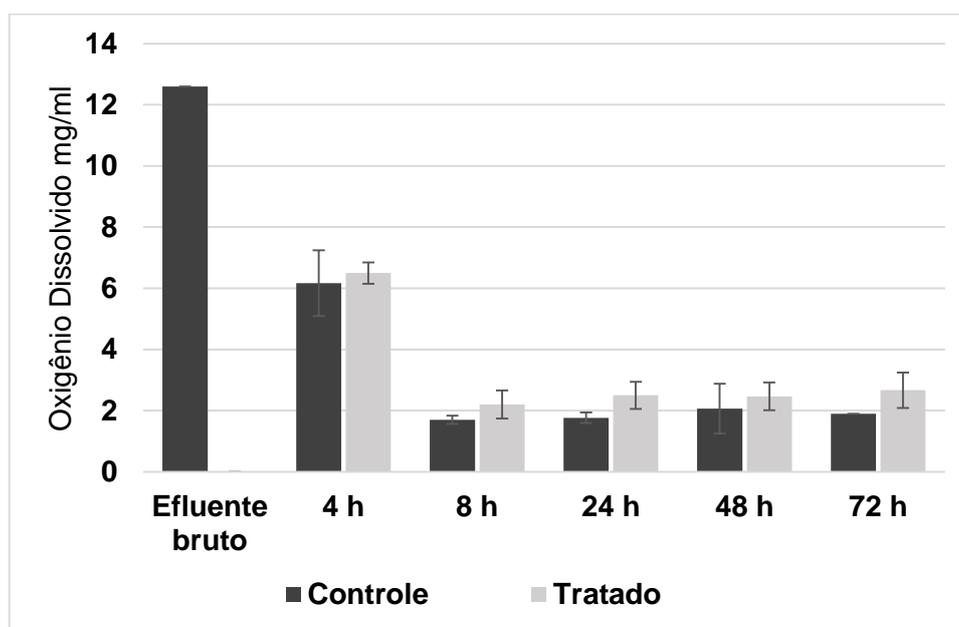
Tabela 8 - Oxigênio dissolvido do efluente tratado (mg/L)

Caixa	4 horas de detenção	8 horas de detenção	24 horas de detenção	48 horas de detenção	72 horas de detenção
Plantas	7,2	3,2	2,2	3,5	4,0
Plantas	5,8	1,4	3,5	2,1	2,0
Plantas	6,5	2,0	1,8	1,8	2,0
Controle	6,2	1,5	1,4	3,9	1,9
Controle	8,3	1,6	1,8	1,5	1,9
Controle	4,0	2,0	2,1	0,8	1,9

Fonte: Autor (2023)

Com base nos resultados obtidos das análises de oxigênio dissolvido, foi calculado a média do grupo plantas o do grupo controle, gerando o Gráfico 4.

Gráfico 4 - Oxigênio dissolvido do efluente tratado (mg/L)



Fonte: Autor (2023)

O efluente bruto tinha 12,6 mg/L e o grupo plantas variou de 1,4 a 7,2 e o grupo controle de 0,8 a 8,3. O grupo plantas apresentou uma diminuição de 74,15 % e o grupo controle de 81,17%, significando que as plantas foram eficientes em manter os valores de Oxigênio Dissolvido, sendo que não existem parâmetros para efluentes na legislação consultada.

6.5 – Condutividade Elétrica

O valor do efluente bruto foi de 328 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sendo que na Tabela 9 estão os valores de condutividade elétrica do efluente tratado.

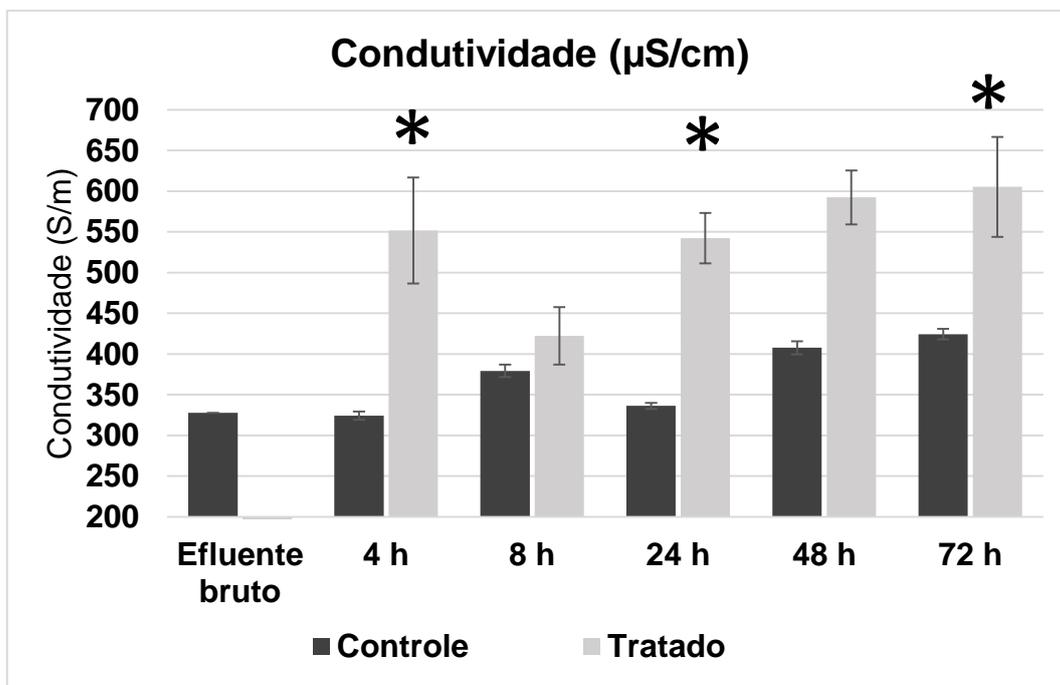
Tabela 9 - Condutividade Elétrica do efluente tratado($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Caixa	4 horas de detenção	8 horas de detenção	24 horas de detenção	48 horas de detenção	72 horas de detenção
Plantas	403	350	471	553	469
Plantas	607	491	571	555	640
Plantas	645	426	585	669	707
Controle	315	378	339	394	411
Controle	335	365	342	404	437
Controle	323	395	328	425	425

Fonte: Autor (2023)

Com base nos resultados obtidos das análises de condutividade elétrica, foi calculado a média do grupo plantas o do grupo controle, gerando o Gráfico 5.

Gráfico 5 - Condutividade elétrica do efluente tratado ($\mu\text{S}/\text{cm}$)



*: indica diferença significativa entre os dados do mesmo período de tempo, considerando $p < 0,05$, dentro do teste t de Student.

Fonte: Autor (2023)

O grupo plantas mostrou uma variação percentual positiva em relação ao controle, indicando um aumento mais significativo na condutividade. Isso sugere que as condições do grupo plantas, em comparação com o controle, contribuem para um aumento mais expressivo na condutividade do sistema ao longo do tempo. O efluente bruto tinha 328 e o grupo plantas variou de 350 a 707 e o grupo controle de 315 a 437.

6.6 – Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO 5/20

Na Tabela 10 estão os dados de oxigênio dissolvido no efluente bruto na primeira análise e após 5 dias de incubação, sendo que o valor de $DBO_{5/20}$ é a diferença entre a primeira e a segunda análise.

Tabela 10 - Oxigênio dissolvido (OD) inicial, final e a $DBO_{5/20}$ encontrada (mg/L)

Caixa	OD Inicial	OD Final	$DBO_{5/20}$
Plantas	7,2	0,7	6,5
Plantas	5,8	1,3	4,5
Plantas	6,5	1,1	5,4
Controle	4,0	2,2	1,8
Controle	6,2	1,0	5,2
Controle	8,3	1,1	7,2

Fonte: Autor (2023)

Esses valores representam a quantidade de oxigênio que foi consumido pelos microrganismos na amostra de água durante um período de 5 dias para decompor a matéria orgânica. A eficiência de remoção de um sistema de tratamento pode ser calculada usando a seguinte fórmula:

$$Eficiência (\%) = \frac{C_{inicial} - C_{final}}{C_{final}} \times 100$$

onde $C_{inicial}$ é a concentração inicial de $DBO_{5/20}$ no efluente bruto e C_{final} é a concentração final de $DBO_{5/20}$ no efluente tratado.

O efluente bruto tinha 12,6 mg/L de oxigênio sendo calculado a eficiência de remoção conforme Tabela 11.

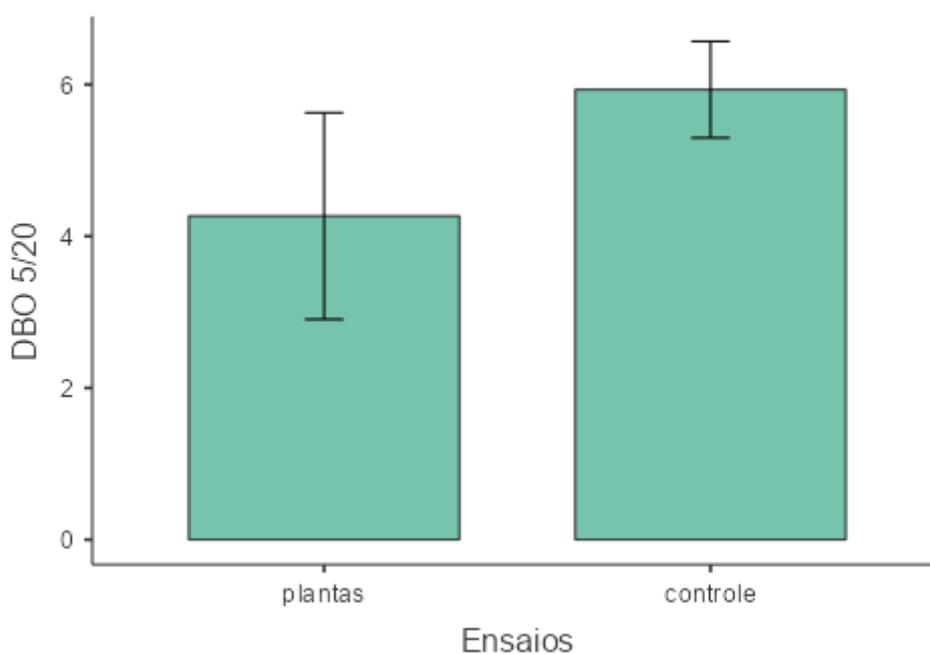
Tabela 11 - Eficiência de remoção de DBO 5/20

Fonte: Autor (2023)

Caixa	Concentração Final de DBO _{5/20} (mg/L)	Eficiência de Remoção de DBO _{5/20} (%)
Plantas	0,7	94,4
Plantas	1,3	89,7
Plantas	1,1	91,6
Controle	2,2	82,5
Controle	1,0	92,1
Controle	1,1	91,3

Fonte: Autor (2023)

A partir do Gráfico 6 podemos ver que as caixas com plantas geralmente apresentaram eficiências de remoção mais altas do que as caixas de controle. No entanto, todas as caixas apresentaram eficiências de remoção acima de 80%, indicando que tanto as caixas com plantas quanto as caixas de controle foram eficazes na remoção de DBO_{5/20}.

Gráfico 6 - DBO_{5/20} (mg/L)

Fonte: Autor (2023)

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tratamento de águas cinzas através de wetlands mostrou-se eficaz em vários aspectos, incluindo a manutenção dos valores de pH e OD, a redução da turbidez e a remoção de DBO₅/20. No entanto, o tratamento não foi eficaz na redução dos sólidos totais e no aumento da condutividade elétrica. Apesar dessas limitações, os resultados gerais sugerem que o uso de wetlands com *Zantedeschia aethiopica* pode ser uma estratégia eficaz para o tratamento de águas cinzas provenientes de uma máquina de lavar roupas.

É importante observar que essa eficiência variou de acordo com os períodos de detenção. Em certos casos, não houve diferença significativa entre os grupos com plantas e de controle para determinados intervalos de tempo, o que indica que a eficácia das plantas pode ser mais pronunciada em certas condições ou momentos específicos.

Portanto, enquanto as plantas parecem ter exercido um efeito benéfico em alguns parâmetros é necessário considerar a variabilidade dos resultados e realizar análises mais detalhadas para compreender completamente a extensão da eficácia das plantas no tratamento das águas cinzas.

REFERÊNCIAS

ABREU, Cauê Girão de. **Wetlands construídos híbridos em escala real no tratamento de esgoto**. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2019. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/100/100136/tde-29082019-154310/publico/CaueAbreucor.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2023.

ADASA. **Aproveitamento de Águas Pluviais e Reúso de Águas Cinzas em Edificações**. 2023. Disponível em: https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/abastecimento_a_gua_esgotamento_sanitario/regulacao/reuso_aguas_cinza_aproveitamento_aguas_pluviais/reusodf_2_padroes_qualidade.pdf. Acesso em: 07 dez. 2023.

BARACUHY, Verena S. et al. **Qualidade das águas cinza tratada com fitorremediação em unidades de produção agrícola**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 10, n. 1, p. 187-192, jan-mar, 2015. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7300936.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2023.

BARACUHY, Verena S. et al. **Qualidade das águas cinza tratada com fitorremediação em unidades de produção agrícola**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 10, n. 1, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v10i1.3332>. Disponível em: <http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS>. Acesso em: 15 dez. 2023.

BARRETO, Douglas e MEDEIROS, Oranda. **Caracterização da vazão e frequência de uso de aparelhos sanitários**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 23, n. 1, p. 1-15, 2023. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/5939/4713/24101>. Acesso em: 27 nov. 2023.

BEGOSSO, Larissa et al. **Configuração de wetlands construídos para o tratamento de água cinza**. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande – MS. 2009. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/110/c7e72ac67feb624640e9d28f320a5121_d037cbac13c467052f14c955da535ec8.pdf. Acesso em: 23 nov. 23

BEGOSSO, Larissa. **Determinação de parâmetros de projeto e critérios para dimensionamento e configuração de wetlands construídas**. UFMS, 2009. Disponível em:

<https://repositorio.ufms.br/bitstream/123456789/1498/1/Larissa%20Begosso.pdf>
Acesso em: 15 dez. 23.

BELMONT, Marco A.; METCALFE, Chris D. **Feasibility of using ornamental plants (*Zantedeschia aethiopica*) in subsurface flow treatment wetlands to remove nitrogen, chemical oxygen demand and nonylphenol ethoxylate surfactants—a laboratory-scale study**. *Ecological Engineering*, v. 21, p. 233-247, 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857403000934>. Acesso em: 06 nov. 23.

BEZERRA, Andreza Mayara Silva et al. **Caracterização de parâmetros físico-químicos de água cinza proveniente da lavagem de roupas em lavanderia comercial em Pombal-PB**. Universidade Federal de Campina Grande - Campus Pombal, 2016. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/conidis/2016/TRABALHO_EV064_MD1_SA5_ID1124_24102016212448.pdf. Acesso em: 15 dez. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Águas – ANA. **Consumo de água em atividades domésticas**. Brasília, DF: ANA, 2019. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/gestao-da-agua/usos-da-agua/consumo-de-agua-em-atividades-domesticas>>. Acesso em: 21 jun. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Águas - ANA. **Política Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília, DF: ANA, 2019. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/gestao/planejamento-e-gestao/pnrh>. Acesso em: 07 abr. 2023.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA **Resolução 375/2006**. Brasília, DF, 2006. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=797. Acesso em: 03 dez. 23.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA **Resolução 430/2011**. Brasília, DF, 2011. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=118583>. Acesso em: 14 dez. 23.

BRASIL. **Lei nº 14.546, de 4 de abril de 2023. Altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (Lei de Saneamento Básico), para estabelecer medidas de prevenção a desperdícios, de aproveitamento das águas de chuva e de reúso não potável das águas cinzas**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 de

abril de 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/L14546.htm. Acesso em: 08 dez. 23.

BRASIL. Ministério da Saúde - Fundação Nacional de Saúde - FUNASA. **Manual Prático de Análise de Água**. Brasília, DF, 2006. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_analise_agua_2ed.pdf. Acesso em: 26 jun. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde - Fundação Nacional de Saúde – FUNASA. **Vigilância Ambiental em Saúde: Textos de Referência**. Brasília, DF, 2002. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/funasa/textos_vig_ambiental.pdf. Acesso em: 23 nov. 2023.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS - **Diagnóstico 2021 (dados de 2019)**. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos>. Acesso em: 28 abr. 2023

BULLER, L.S.; TEIXEIRA, M.B.; ORTEGA, E. **Wetlands naturais e construídas para tratamento de resíduos da suinocultura**. In: II SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAS – II SIGERA, 2023, Foz do Iguaçu - PR. 2011. Disponível em: <http://www.sbera.org.br/2sigera/obras/t075.pdf>. Acesso em 08 dez. 23.

CAMPOS, Julyenne Meneghetti. **Constructed wetlands na retenção de interferentes endócrinos presentes em águas residuárias**. 2018. 1 recurso online (301 p.) Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP. Disponível em: <https://www.repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1091523>. Acesso em: 6 dez. 2023.

CHRISPIM, M. C. **Avaliação de um sistema de tratamento de águas cinzas em edificação de campus universitário**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. 2014. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-11092014-102851/publico/MarianaCardosoChrispim.pdf>. Acesso em: 15 dez. 23.

CINTRA, Tulio Salatiel. **Tratamento de água cinza clara de edifício comercial por flotação por ar dissolvido para reúso em descargas de bacias sanitárias**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de

Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Curitiba, 2019. Orientador: Prof. Dr. Ramiro Gonçalves Etchepare. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/61943>. Acesso em: 15 dez. 2023.

COSTA, Raul Leite da et al. **Tratamento de água cinza para reúso agrícola no semiárido do Rio Grande do Norte, Brasil**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 27, n. 5, p. 1031–1040, set. 2022. Disponível em : <https://www.scielo.br/j/esa/a/CfRPxRyYSYYZsB4x979WfWz/Acesso> em: 23 nov.23.

CRUZ, Luiza Jofily Miranda. **Avaliação de um sistema de wetland construído no tratamento de águas e do risco microbiológico associado ao reuso para fins agrícolas: um estudo de caso em uma propriedade rural**. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia e Biociências) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia e Biociências, Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/231179>. Acesso em: 05 dez. 23.

CURADO, Ana Luísa et al. **Impactos da exposição à poluição ambiental sobre a saúde dos brasileiros: uma revisão sistemática**. Ensino, Saude e Ambiente, v. 15, n. 2, p. 282-302, 23 nov. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.22409/resa2022.v15i2.a49660>. Acesso em: 07 dez. 23.

DANTAS, Paulo Ricardo et al. **Reuso de água cinza tratada em sistema de alagado construído com resíduos da construção civil**. Revista Verde, v.14, n.1, p.62-68, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/332589979_Reuso_de_agua_cinza_tratada_em_sistema_de_alagado_construido_com_residuos_da_construcao_civil. Acesso em: 27 nov. 23

EMBRAPA. SEMIÁRIDO. **Fortalecimento de sistemas produtivos familiares integrado ao reúso de águas cinzas domiciliares em comunidades tradicionais**. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355026/52478941/Slides+aula+Re%C3%BAso+-+M%C3%B3dulo+3/a7afe1a7-41d6-0396-b7ae-a85a78900dd7>. Acesso em: 13 dez. 23.

EQUIPE WETLANDS. **Wetlands construídos: tratamento passivo de águas de mineração usando Soluções Baseadas na Natureza. 2023**. Disponível em: <https://www.wetlands.com.br/post/wetlands-constru%C3%ADdos-tratamento-passivo-de-%C3%A1guas-de-minera%C3%A7%C3%A3o-usando-solu%C3%A7%C3%B5es-baseadas-na-natureza>. Acesso em: 07 dez. 23.

ERIKSSON, Eva. et al. **Characteristics of grey wastewater**. Urban Water, v. 4, n. 1, p. 85-104, 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1462075801000644>. Acesso em 28 nov. 23.

FIGUEIREDO et al. **Águas cinzas em domicílios rurais: separação na fonte, tratamento e caracterização**. 2018. Revista DAE. 67. 141-156. 10.4322/dae.2019.061. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/336822565_Aguas_cinzas_em_domicilios_rurais_separacao_na_fonte_tratamento_e_caracterizacao. Acesso em: 13 dez. 23.

FIGUEIREDO, Gesivaldo Jesus Alves de; SOUSA, Antonio Cícero de. **A importância da reutilização de águas cinza em domicílios**. V CONEDU. João Pessoa – PB, 2018. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2018/TRABALHO_EV117_M D1_SA14_ID9911_09092018223425.pdf. Acesso em: 13 dez. 23.

FIGURA 4. (*Zantedeschia aethiopica*). Disponível em: <https://plantsam.com/zantedeschia-aethiopica/>. Acesso em: 14 dez. 23.

GALVÃO, Ana. **Águas residuais: fonte de microplásticos para os meios aquáticos?** INDUSTRIA E AMBIENTE – Revista de Informação Técnica e Científica. Nº 114 – Jan/Fev 2019. Disponível em: <https://www.industriaeambiente.pt/noticias/aguas-residuais-fonte-de-microplasticos/>. Acesso em: 28 nov. 2023.

GHISELLI, Gislaíne; JARDIM, Wilson F. **Interferentes endócrinos no ambiente**. Química Nova, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 695-706, jun. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v30n3/31.pdf>. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000300032>. Acesso em: 07 dez. 23.

GONÇALVES, A. J.; Mendes, J. M.. **Análise de reutilização de água cinza**. Tubarão: Universidade do Sul de Santa Catarina. 2023 Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/15382/1/TCC%20-%20Amanda%20%20e%20%20Julia.pdf>. Acesso em: 27 nov. 23.

GONÇALVES, Ricardo Franci (Coord). **Uso Racional da Água em Edificações**. Rio de Janeiro, 2006. ABES. Disponível em: <https://repositorio.mcti.gov.br/handle/mctic/5622>. Acesso em 05 dez. 23.

GONÇALVES, Ricardo Franci et al. **Avaliação da qualidade de águas cinzas de máquina de lavar, durante o armazenamento, com finalidade de reúso.** 2018. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/aguas-cinzas-reuso>. Acesso em: 28 nov. 23.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Saneamento básico e água: ranking do acesso e perdas. 2021.** Disponível em: <https://www.tratabrasil.org.br/ranking>. Acesso em: 07 abr. 2023.

JAMOVI. Disponível em: <<https://www.jamovi.org>>. Acesso em: 10 dez. 23.

JUNHO Alana Lopes. **Avaliação da eficiência do tratamento de águas cinzas utilizando sementes de Moringa.** Research, Society and Development. 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/8136/9456/143887>. Acesso em: 15 dez. 23.

LEI Nº 14.546, DE 4 DE ABRIL DE 2023. **Altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (Lei de Saneamento Básico), para estabelecer medidas de prevenção a desperdícios, de aproveitamento das águas de chuva e de reúso não potável das águas cinzas.** Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/L14546.htm. Acesso em: 03 dez. 23.

LEI ORDINÁRIA nº 2856, de 2011. **Estende as obrigações da Lei nº 2630, de 07 de janeiro de 2009, instituindo mecanismos de estímulo à instalação de sistema de coleta e reutilização de águas servidas em edificações públicas e privadas.** Niterói, 2011. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/rj/n/niteroi/lei-ordinaria/2011/286/2856/lei-ordinaria-n-2856-2011-estende-as-obrigacoes-da-lei-n-2630-de-07-de-janeiro-de-2009-instituindo-mecanismos-de-estimulo-a-instalacao-de-sistema-de-coleta-e-reutilizacao-de-aguas-servidas-em-edificacoes-publicas-e-privadas>>. Acesso em: 5 dez. 2023.

LEMKE-DE-CASTRO, Maria Lúcia. et al. **Avaliação da qualidade das águas cinza por meio da condutividade elétrica.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 5, n. 2 Especial, 2012. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2012v5n2%20Especialp%25p>. Disponível em: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2012v5n2%20Especialp%25p>. Acesso em: 15 dez. 2023.

LIBERTY LAB. **Medidor Digital de Oxigênio Dissolvido, Oxímetro JPB-70A.** Disponível em: <https://www.libertylab.co/producto/medidor-digital-de-oxigeno-jpb-70a/>. Acesso em: 02 dez. 23.

LIMA, A. C. S.; MANNICH, M. (2017). **Revisão bibliométrica sobre turbidez e sólidos suspensos por sensoriamento remoto.** Anuário do Instituto de Geociências. PPeGeo, 40(2), 131-142. Disponível em: <https://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/13110>. Acesso em: 28 nov. 23.

LIMA, Guilherme Bertuzzo. **Sistema de reúso de águas cinzas: estudo de caso para implantação em um condomínio residencial de baixo padrão em fase de projeto.** 2018. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6171/1/reusoaguascinzas.pdf>. Acesso em: 13 dez. 23.

LIMA, Jacqueline Zanin. **Efeitos dos microplásticos e nanoplásticos no meio ambiente: contextualização e revisão sistemática da literatura.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2022. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/29cb0b7b-c817-418f-afcd-efabfbad483a/JacquelineZaninLima%20PQI22.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2023.

MACCARINI, Maria Gabriela Coral et al. **Estudo de viabilidade de sistema de reúso de águas cinzas em um edifício residencial multifamiliar – Estudo de caso.** (2018). In Anais do 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018. Disponível em: https://siambiental.ucs.br/congresso/getArtigo.php?id=513&ano=_sexto. Acesso em: 05 dez. 23.

MANNICH, M. (2017). **Tubo de turbidez para determinação de baixo custo da turbidez em corpos d'água superficiais.** Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/78790/1/Regis%20Puppin%20Lopes%20Mendon%C3%A7a%20-%20Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>.

MARTINS, Denise Domingues dos Santos et al. **Avaliação da aplicabilidade do reúso da água cinza de máquina de lavar roupa após tratamento completo e simplificado.** 2021. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica. 14. 526. 10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.2.71040. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/354084528_AVALIACAO_DA_APLICABILIDADE_DO_REUSO_DA_AGUA_CINZA_DE_MAQUINA_DE_LAVAR_RO

UPA APOS TRATAMENTO COMPLETO E SIMPLIFICADO. Acesso em: 15 dez. 23.

MAY, Simone. **Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais.** 2009. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-17082009-082126/pt-br.php>. Acesso em: 07 dez. 2023.

MELLO, Débora de. **Avaliação do uso de sistemas de wetlands construídas no tratamento de esgotos sanitários.** UTFPR, 2016. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9607/1/CT_COAMB_2016_2_1.pdf. Acesso em: 15 dez. 23.

MELO JÚNIOR, Ariston Silva et al. **Qualidade no tratamento de esgoto doméstico por wetland.** 2019. Disponível em: <https://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/inovae/article/view/1848/1441>. Acesso em: 06 dez. 23.

MENEZES, Caroline dos Santos de. **Tratamento e reúso de águas cinza para ampliação de áreas verdes.** UFMS. Campo Grande, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/bitstream/123456789/2186/1/Caroline%20Menezes.pdf>. Acesso em: 07 dez. 23.

MONTEIRO, Rodrigo Cesar de. **Viabilidade técnica do emprego de sistemas tipo "wetlands" para tratamento de água cinza visando o reuso não potável.** 2009. TESES USP. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-09032009-110147/publico/dissertacao_rodrigo_monteiro_wetlands.pdf. Acesso em: 26 jun. 2023.

MORAIS, Patrick Alecsander de. **Poluição hídrica no contexto brasileiro: uma análise de produções da revista Química Nova na Escola.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/232971>. Acesso em: 07 dez. 2023

MOREL, A.; DIENER, S. **Greywater management in low and middle-income countries.** Dübendorf: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), 2006. Disponível em: <https://www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/947>. Acesso em: 29 de nov. 23.

MOURA, Priscila Gonçalves et al. **Água de reuso: uma alternativa sustentável para o Brasil**. Scielo, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020180201>. Acesso em: 21 jun. 2023.

ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **Dia Mundial da Água: 35% da água tratada é perdida antes de chegar ao consumidor final**. ONU, 2021. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/dia-mundial-da-agua-35-da-agua-tratada-e-perdida-antes-de-chegar-ao-consumidor-final/>. Acesso em: 26 jun. 2023.

PASSOS, Erik Santos; BRANDÃO, Louise Francisca Sampaio; CARVALHO, Roseanne Santos de. **Tratamento de águas cinzas por meio de filtro com leite associado de resíduos da construção civil, esponjas utilizadas e antracito**. Revista Tecnologia e Ambiente, Criciúma, v. 27, 2021. ISSN Eletrônico 2358-9426, ISSN Impresso 1413-8131. Disponível em: <https://periodicos.unesc.net/tecnoambiente/article/download/6489/pdf>. Acesso em: 13 dez. 23.

PERIN, Rayzza. **Nefrocalcinose medular bilateral por ingestão de Zantedeschia aethiopica (copo de leite) em filhote canino: Relato de caso**. Pubvet, [S. l.], v. 13, n. 05, 2019. DOI: 10.31533/pubvet.v13n5a324.1-4. Disponível em: <https://ojs.pubvet.com.br/index.php/revista/article/view/856>. Acesso em: 15 dez. 2023.

PERONDI, Taise et al. **Wetlands construídos para o tratamento de esgoto doméstico: uma análise comparativa do custo do ciclo de vida**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 175189, abr./jun. 2020. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000200394>. Acesso em: 15 dez. 23.

POÇAS, Cristiane Dias. **Utilização da tecnologia de wetlands para tratamento terciário: controle de nutrientes**. USP, SP, 2015. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6139/tde-23112015-122556/publico/CristianeDiasPocas.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2023.

RAMPELOTTO, G. **Caracterização e tratamento de águas cinzas visando reúso doméstico**. 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7863/RAMPELOTTO%2C%20GERALDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 28 nov. 23.

RAPOPORT, Beatriz. **Águas cinzas: caracterização, avaliação financeira e tratamento para reuso domiciliar e condominial**. 2013. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2013.

REFLORA. *Araceae in Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB609342>>. Acesso em: 14 dez. 2023.

RIBEIRO, Márcia de Nazaré Oliveira. **Multiplicação in vitro de copo-de-leite (*Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng.)**. Universidade Federal de Lavras, 2007. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/4563/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 13 dez. 23.

ROCHA, Ledyane Dalgalo; PEGORINI, Fernanda; MARANHO, Leila Teresinha. **Organização estrutural e localização das estruturas tóxicas em comigoninguém-pode (*Dieffenbachia picta* (L.) Schott) e copo-de-leite (*Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng)**. Curitiba, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/257944311_Organizacao_estrutural_e_localizacao_das_estruturas_toxicas_em_comigo-ninguem-pode_Dieffenbachia_picta_L_Schott_e_copo-de-leite_Zantedeschia_aethiopica_L . Acesso em: 15 dez. 23.

RODRIGUES, Karem Campos et al. **Tratamento de Águas Cinzas de Máquina de Lavar Roupas com Coagulantes Químicos e Natural** . In: SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS, 1., 2019. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2019. DOI: 10.46421/sispred.v1i.1598. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sispred/article/view/1598>. Acesso em: 4 dez. 2023.

ROSSETTI, Adroaldo Guimarães. **Influência da área da parcela e do número de repetições na precisão de experimentos com arbóreas**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 37, n. 4, p. 433–438, abr. 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/k7jWtWx3fv6psmypVXtvpFC/#>. Acesso em: 10 dez. 23.

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Organizadores: Carlos Jesus Brandão ... [et al.]. -- São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. Acesso em: 26 jun. 2023.

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. **Reuso de água**. CETESB, São Paulo, SP, 2013. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/reuso-de-agua/>>. Acesso em: 26 jun. 2023.

SELLA, Marcelino Blacene. **Reuso de águas cinzas: avaliação da viabilidade da implantação do sistema em residências**. UFRGS, Porto Alegre, RS, 2011. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/34521>. Acesso em: 28 nov. 23.

SEZERINO, Pablo Heleno e PELISSARI, Catiane -. **Wetlands construídos como Ecotecnologia para o tratamento de águas residuárias**. Experiências brasileiras. GESAD - UFSC 2021. Disponível em: <<https://gesad.ufsc.br/files/2021/02/E-book-WETLANDS-BRASIL-Experi%C3%AAsncias-Brasileiras-1.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2023.

SILVA, Diego Patrick Melo; PEREIRA, Igor Nonato Almeida. (2021). **Análise da reutilização de águas cinzas para fins não potáveis**. Brazilian Journal of Development, 7(7), 72853-72869. Disponível em: DOI: 10.34117/bjdv7n7-454. Acesso em: 05 dez. 23.

SILVA, Maria de Fátima da; MENELAU, Almir Silveira; RIBEIRO, Ana Regina Bezerra. **Impactos ambientais registrados nos estudos das lavanderias têxteis do arranjo produtivo do Agreste Pernambucano: uma releitura pela perspectiva da sustentabilidade ambiental**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v.10, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/354908642_IMPACTOS_AMBIENTAIS_REGISTRADOS_NOS_ESTUDOS_DAS_LAVANDERIAS_TEXTEIS_DO_ARRANJO_PRODUTIVO_DO_AGRESTE_PERNAMBUCANO_UMA_RELEITURA_PELA_PERSPECTIVA_DA_SUSTENTABILIDADE_AMBIENTAL. Acesso em: 15 dez. 2023.

SILVA, Russilano Costa. **Testes de Comparação de Médias**. Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande – PA. 2010. Disponível em: <https://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/4318/1/PDF%20-%20Russilano%20Costa%20Silva.pdf>. Acesso em: 10 dez. 23.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS) - **Diagnóstico 2021 (dados de 2019)**. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos>>. Acesso em: 28 abr. 2023

SOARES, Alexandra Fátima; SOUZA, Luiz Paulo Souza e. **Contaminação das águas de abastecimento público por poluentes emergentes e o direito à saúde.** Revista de Direito Sanitário, [S. l.], v. 20, n. 2, p. 100-133, 2020. DOI: 10.11606/issn.2316-9044.v20i2p100-133. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdisan/article/view/169658>. Acesso em: 2 jul. 2023.

SOARES, Andreia Azevedo. **No Wash: vamos lavar a roupa o mínimo possível em nome do ambiente?** Publico jornal online. 25 junho de 2023. Disponível em: <https://www.publico.pt/2023/06/25/azul/noticia/wash-vamos-lavar-roupa-minimo-possivel-nome-ambiente-2054475>. Acesso em: 28 nov. 2023.

SOETHE, Gabriela Caroline. **Desinfecção de águas cinzas pelos métodos de cloração e radiação ultravioleta para fins de reúso não potável.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Orientador: Eng. Msc. Maria Elisa Magri. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/126172/TCC%20Gabriella%20Caroline%20Soethe.pdf?isAllowed=y&sequence=1>. Acesso em: 15 dez. 2023.

Vera-Puerto, I et al. **Performance Comparison of Vertical Flow Treatment Wetlands Planted with the Ornamental Plant *Zantedeschia aethiopica* Operated under Arid and Mediterranean Climate Conditions.** 2021. Water, 13(11), 1478. <https://doi.org/10.3390/w13111478> (2018). Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/11/1478>. Acesso em: 07 dez. 23.

VON SPERLING, Marcos; SEZERINO, Pablo H. (2018). **Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil.** Boletim Wetlands Brasil, Edição Especial, dezembro/2018. 65 p. ISSN 23590548. Disponível em: <http://gesad.ufsc.br/boletins/>. Acesso em: 29 nov. 23.

VYMAZAL, J. (2011). Constructed wetlands for wastewater treatment: five decades of experience. Environmental Science & Technology, 45(1), 61-69. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/2/3/530>. Acesso em 28 nov. 23.

YPÊ. **Como economizar água na máquina de lavar.** Ypê, 2023. Disponível em: <https://www.ype.ind.br/ype-explica/como-economizar-agua-na-maquina-de-lavar/>. Acesso em: 04 dez. 2023.

ZANELLA, Luciano. (2008). **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: wetlands-construídos utilizando brita e bambu como suporte.** 10.13140/RG.2.2.22050.48320. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/327867091_PLANTAS_ORNAMENTAIS_NO_POS-TRATAMENTO_DE_EFLUENTES_SANITARIOS_WETLANDS-CONSTRUIDOS_UTILIZANDO_BRITA_E_BAMBU_COMO_SUORTE. Acesso em: 06 dez. 23.