



GOVERNO DO ESTADO DE MATO GROSSO  
SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO MATO GROSSO  
CARLOS ALBERTO REYES MALDONADO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM  
GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



## PROJETO DE ALAGADOS CONSTRUÍDOS NO MUNICÍPIO DE CÁCERES – MT.

CARLOS GABRIEL LACERDA CARVALHO

CUIABÁ - MT

2023



**CARLOS GABRIEL LACERDA CARVALHO**

**PROPOSTA DE PROJETO DE ALAGADOS CONSTRUÍDOS NO  
MUNICÍPIO DE CÁCERES – MT.**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Área de Concentração Instrumentos da Política de Recursos Hídricos, da Universidade do Estado do Mato Grosso (UNEMAT, MT), como requisito para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

**Orientador:** Prof. Dr. Francisco Lledo dos Santos

**Banca examinadora:**

Prof. Dr. Rodrigo Bruno Zanin - UNEMAT

Prof. Dr. Wilkinson Lopes Lázaro – UNEMAT

Prof. Dr. Pedro Alves da Silva Filho - UFRR

**CUIABÁ - MT**

**2023**

## FICHA CATALOGRÁFICA

### CIP – CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

C331p Carvalho, Carlos Gabriel Lacerda.  
Projeto de alagados construídos no município de Cáceres-MT /  
Carlos Gabriel Lacerda Carvalho. – Cáceres, 2024.  
72 f.; 30 cm.; Il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Dissertação/Mestrado) – Curso de Pós-graduação *Stricto Sensu* (Mestrado Profissional) Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Instituto Nacional de Pesquisas do Pantanal Cuiabá e Cidade Universitária Celso Campus Univers. de Cáceres., Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Estado de Mato Grosso, 2024.  
Orientador: Dr. Francisco Lledo dos Santos.

1. Wetland Construído. 2. Tratamento de Efluentes. 3. Saneamento Básico. 4. Alagado Construído. I. Santos, F. L. dos., Dr. II. Título.

CDU 628.3(817.3)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pois é Ele que sempre guia meus passos;

À minha mãe e meu pai, que sempre me incentivaram e nunca me deixaram desistir;

Aos meus irmãos Tiago e Beatriz que sempre me apoiaram nesta caminhada;

Ao meu orientador Prof. Francisco Lledo que foi que está presente em toda minha carreira acadêmica e profissional;

Aos professores Wilkinson e Ernandes pela inestimável contribuição ao trabalho;

À Franciele, minha namorada, que por vezes foi meu suporte nos momentos mais difíceis;

À todos os meus amigos do PROFÁGUA, levarei todos em meu coração com boas histórias dessa jornada;

Aos professores do PROFÁGUA que sempre se esforçaram para nos transmitir o máximo de conhecimento possível;

A Universidade do Estado do Mato Grosso – UNEMAT, que foi responsável pelo meu desenvolvimento acadêmico e profissional e possibilitou a realização do mestrado.

A todos meus amigos que sempre me apoiaram e acreditaram no meu potencial;

Ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação dos Recursos Hídricos - ProfÁgua, projeto CAPES/ANA AUXPE nº 2717/2015;

A todos que de forma direta ou indiretamente contribuíram com este trabalho.

## RESUMO

**CARVALHO, Carlos Gabriel Lacerda. Projeto de Alagados Construídos no município de Cáceres - MT.** Dissertação. Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Programa de Pós-Graduação em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, UNEMAT, Mato Grosso. 2023.

O Brasil é uma nação privilegiada em relação a outros países no mundo devido sua abundância de recursos hídricos e seus múltiplos usos. Apesar disso os índices de coleta e tratamento dos efluentes são insuficientes quando comparado ao esgoto produzido. Tal dificuldade fica mais evidente à medida que nos afastamos dos grandes centros e nos aproximamos das regiões interioranas. Tais características regionais foram identificadas no município de Cáceres, onde foi proposto esse trabalho. Nesta ótica, a necessidade de se propor uma alternativa de tratamento de esgoto que atenda a população, fica evidente, desde que a mesma seja adequada e eficiente aos parâmetros aceitáveis de tratamento de água residual. Deste modo, os Alagados Construídos se apresentam como uma possível alternativa viável, pois utiliza-se de recursos naturais e em vários níveis de tratamento, como observado em outros trabalhos, ocorre a diminuição dos índices de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos em Suspensão, Nitrogênio Amoniacal, Nitrato, Nitrito, Fósforo Total. Para a confirmação da viabilidade deste sistema de tratamento, primeiramente foram realizadas simulações de alagados construídos em laboratório, com coleta de efluente no local, conservando suas características, mesmo que em escala reduzida. Após realizados os ensaios foram constatadas remoções de poluentes satisfatórias após 20 horas de experimento, com os seguintes resultados: a remoção de DBO foi de 15%; DQO 70%; os sólidos em suspensão apresentaram 90% de remoção, fósforos totais 88%, nitrato 80%, nitrito 65%, e a amônia apresentou 85% de remoção. Tais fatores evidenciam a eficiência do sistema, desta maneira, neste trabalho foi feito a elaboração de um projeto de Alagado Construído para implantação na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) no município de Cáceres-MT no bairro Cohab Nova.

**Palavras-chave:** Wetland Construído. Tratamento de Efluentes. Saneamento Básico.

## ABSTRACT

Brazil is a privileged nation in relation to other countries in the world due to its abundance of water resources and their multiple uses. Despite this, effluent collection and treatment rates are insufficient when compared to the sewage produced. This difficulty becomes more evident as we move away from large centers and closer to inland regions. Such regional characteristics were identified in the municipality of Cáceres, where this work was proposed. From this perspective, the need to propose an alternative for sewage treatment that serves the population is evident, as long as it is adequate and efficient within acceptable wastewater treatment parameters. In this way, Constructed Wetlands present themselves as a possible viable alternative, as they use natural resources and at various levels of treatment, as observed in other studies, there is a reduction in the rates of Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Demand of Oxygen (COD), Suspended Solids, Ammonia Nitrogen, Nitrate, Nitrite, Total Phosphorus. To confirm the viability of this treatment system, simulations of wetlands built in the laboratory were first carried out, with effluent collection on site, preserving its characteristics, even on a reduced scale. After carrying out the tests, satisfactory pollutant removals were observed after 20 hours of experiment, with the following results: BOD removal was 15%; COD 70%; suspended solids showed 90% removal, total phosphorus 88%, nitrate 80%, nitrite 65%, and ammonia showed 85% removal. These factors demonstrate the efficiency of the system, therefore, in this work, a Constructed Wetland project was developed for implementation in the Sewage Treatment Station (ETE)<sup>1</sup> in the municipality of Cáceres-MT in the Cohab Nova neighborhood.

**Keywords:** Constructed Wetland. Wastewater treatment. Basic sanitation.

---

<sup>1</sup> A sigla foi mantida em português (Acronyms were kept in Portuguese).

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Despejo de esgoto sem tratamento no Rio Paraguai, Cáceres-MT. ....	13
Figura 2 - Despejo de efluentes .....	14
Figura 3 - Linha temporal do Marco de Saneamento .....	16
Figura 4 - Níveis de tratamento de efluentes .....	18
Figura 5 - Esquema de coleta e tratamento de esgoto.....	18
Figura 6 - Classificação dos Wetlands (Alagados) Construídos.....	23
Figura 7 - Alagado construído com fluxo superficial com plantas emergentes. ....	23
Figura 8-Exemplo de sistema de alagado construído vertical .....	24
Figura 9 - Alagado construído subsuperficial horizontal.....	25
Figura 10 - Estação de tratamento de efluentes CETREVI. ....	26
Figura 11 - Tipos de macrófitas. ....	24
Figura 12 - Fluxograma de pesquisa. ....	35
Figura 13 - Município de Cáceres.....	35
Figura 14 - Macrolocalização da RH-Paraguai.....	36
Figura 15 - Imagem aérea do local do sistema .....	38
Figura 16 - Área de atendimento da ETE .....	38
Figura 17 - Coleta de efluente - Fonte: Autor.....	39
Figura 18 - Grafico de curva granulométrica.....	40
Figura 19 - Execução dos filtros de bancada .....	37
Figura 20 - Bombonas para ensaio.....	41
Figura 21 - Heliconia psittacorum. ....	42
Figura 22- Fotômetro multiparâmetro Hanna .....	44
Figura 23 - Análise das amostras .....	45
Figura 24 - Amostras de efluente com reagentes.....	45
Figura 25 – Remoção de DQO.....	46
Figura 26 - Remoção de DBO .....	47
Figura 27 - Remoção dos Sólidos Suspensos .....	47
Figura 28 - Remoção de Fósforos Totais .....	48
Figura 29 - Remoção de Nitrato.....	49
Figura 30 - Remoção de Nitrito .....	49
Figura 31 - Remoção de Amônia .....	50
Figura 32 - Maquete eletrônica .....	50

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

ANA – Agência Nacional de Águas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

ORSE – Orçamento de Obras de Sergipe

SAC – Sistema de Alagados Construídos

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SES – Sistema de Esgotamento Sanitário

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custo da Construção Civil

SUS – Sistema Único de Saúde



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>16</b>
2.1	SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIOS .....	16
2.2	IMPACTOS DA POLUIÇÃO SOBRE O MEIO AMBIENTE .....	20
2.3	ALAGADOS CONSTRUÍDOS .....	21
2.3.1	Tipos de alagados construídos.....	22
2.3.1.1	Alagados construídos de escoamento superficial .....	23
2.3.1.2	Alagados construídos de escoamento subsuperficial de fluxo vertical .....	24
2.3.1.3	Alagados construídos de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal .....	24
2.3.1.4	Sistemas híbridos.....	25
2.4	APLICAÇÃO DAS MACRÓFITAS NOS ALAGADOS CONSTRUÍDOS .....	26
<b>3</b>	<b>ANALISE DE TÉCNICO-ESPACIAL COMPARATIVA ENTRE ALAGADOS CONSTRUÍDOS X LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO .....</b>	<b>27</b>
3.1	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO .....	28
3.2	DIMENSIONAMENTO DE ALAGADOS CONSTRUÍDOS .....	29
3.3	COMPARATIVO.....	31
<b>4</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>34</b>
4.1	ÁREA DE ESTUDO .....	34
4.2	COLETA DE MATERIAL .....	37
4.3	MONTAGEM DOS SISTEMAS DE BANCADA.....	39
4.4	MACRÓFITA AQUÁTICA ESCOLHIDA E PLANTIO .....	41
4.5	DIMENSIONAMENTO DOS SISTEMAS ALAGADOS DE BANCADA .....	42
4.6	ENSAIOS DE LABORATÓRIO .....	44
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>45</b>
5.1	DISCUSSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS .....	51
<b>6</b>	<b>PRODUTO GERADO.....</b>	<b>53</b>

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>54</b>
<b>APÊNDICE A – RELATÓRIO TÉCNICO.....</b>	<b>59</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A pesquisa proposta neste trabalho surge em um contexto crucial para muitas regiões do Brasil, especialmente aquelas distantes dos grandes centros urbanos, onde os desafios relacionados ao tratamento de esgoto se tornam mais evidentes. O município de Cáceres, situado no estado de Mato Grosso, reflete essas características regionais, enfrentando dificuldades no tratamento adequado dos efluentes produzidos pela sua população.

Nessa perspectiva, torna-se imperativo buscar alternativas de tratamento de esgoto que sejam não apenas eficientes, mas também adequadas às condições locais e aos parâmetros aceitáveis de tratamento de água residual. É nesse contexto que os Alagados Construídos emergem como uma possível solução viável, aproveitando recursos naturais e demonstrando eficácia em diversos níveis de tratamento, como já evidenciado em estudos anteriores.

O saneamento básico é um problema crítico no Brasil, afetando milhões de pessoas em todo o país. O acesso inadequado a serviços de água potável, coleta e tratamento de esgoto, e a falta de gestão eficiente dos resíduos sólidos são questões que afetam diretamente a saúde e qualidade de vida da população. A infraestrutura de tratamento de esgoto é insuficiente e inadequada em muitas regiões do país. A baixa abrangência do serviço de tratamento de esgoto ocorre em todo o território nacional, sendo mais recorrente nas periferias dos centros urbanos e nas zonas rurais. (JUNIOR, 2009).

Segundo o IBGE, no ano de 2019, aproximadamente 68,3% das habitações brasileiras tinham acesso ao esgotamento sanitário, sendo ele através de rede de esgoto ou por fossa séptica. cerca de 50% das unidades habitacionais do Brasil não continham sistemas de coleta e transporte de esgoto, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Em geral, o tratamento nessas unidades é limitado pelo uso de fossas sépticas, as quais removem cerca de 40% da carga orgânica aplicada e produzem efluente com características inadequadas para disposição no solo. Muitas vezes não são construídas de acordo com a norma exigida

Em resposta a essa problemática, em 2020 foi aprovado no Brasil o novo Marco Legal do Saneamento Básico. Esta legislação tem como principal objetivo estimular a participação do setor privado e aumentar os investimentos no setor. Através desse marco legal, busca-se atrair recursos financeiros e expertise técnica para impulsionar a expansão e melhoria dos serviços de saneamento básico em todo o país, visando assim garantir o acesso universal a água de qualidade, sistemas de esgoto eficientes e a gestão adequada dos resíduos sólidos. (BRASIL, 2020)

No entanto, a solução para o problema do saneamento básico no Brasil é complexa e exigirá esforços contínuos e coordenação entre os governos federal, estaduais e municipais, bem como a participação da sociedade civil e do setor privado.

Soluções de baixo custo, sustentáveis e ambientalmente eficientes são prioritárias para o atendimento das metas do Marco Legal do Saneamento Básico. Neste sentido, uma das opções em pauta é o uso de alagados construídos para sistemas de polimento e tratamento de águas residuais. Os alagados construídos, também conhecidos como sistemas de tratamento de águas residuais construídos (STARC), são sistemas de tratamento de água que utilizam plantas, solo e microrganismos para remover poluentes e purificar a água. Esses sistemas são projetados para imitar os processos naturais que ocorrem nos ecossistemas de pântanos e áreas alagadas, onde a água é filtrada e purificada (CHENG et al., 2022; ESTEVES et al., 2022)..

Devido as suas funções, podem ser usados para tratar diferentes tipos de águas residuais, incluindo águas residuais municipais, águas pluviais urbanas e efluentes agrícolas (CAO et al., 2022). Eles são especialmente eficazes na remoção de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, além de remover poluentes orgânicos e sedimentos, oferecendo várias vantagens em relação aos métodos convencionais de tratamento de águas residuais, como menor consumo de energia, baixa produção de lodo, menor custo de construção e operação, além de fornecerem habitat para a vida selvagem e ajudarem a melhorar a qualidade da água e a conservação dos recursos hídricos (SAEED et al., 2016).

Os sistemas de alagados construídos têm sido amplamente utilizados em todo o mundo como uma abordagem sustentável e ambientalmente amigável para o tratamento de águas residuais (ESTEVES et al., 2022). No entanto, é importante ressaltar que a concepção e o dimensionamento desses sistemas devem levar em consideração as características específicas do local e os requisitos de tratamento de água necessários (WANG et al., 2023).

Desta forma o objetivo principal é propor modelo de dimensionamento de alagados construídos (wetlands), levando em considerando os aspectos da configuração geométrica, perfil da ETE no município Cáceres – MT.

Ainda podemos elencar como objetivos deste trabalho:

- Avaliar a situação atual da ETE Cáceres - MT para os parâmetros de DBO, Sólidos Suspensos, Fósforo, Nitrato, Nitrito e Amônia;
- Dimensionar e projetar alagado construído (wetlands) para a ETE do município de Cáceres - MT, com ênfase na configuração técnica, perfil da ETE e situação socioeconômica da cidade.

- Comparar dentre dos modelos geométricos adotados o que melhor atenda no viés técnico/econômico para a respectiva cidade e ETE.
- Confeccionar um Relatório Técnico do uso de alagados construídos com ênfases no estudo proposto para a autarquia que administra a respectiva ETE

De acordo com Santana et al. (2020) a ausência de tratamento de esgoto no Brasil pode gerar diversos impactos ambientais negativos, como a contaminação de rios, lagos e mares, a poluição do solo e do ar, além da proliferação de doenças. Isso ocorre porque o esgoto doméstico contém uma grande quantidade de poluentes orgânicos e inorgânicos que podem afetar a qualidade da água e do solo, bem como a biodiversidade dos ecossistemas. Além disso, a disposição inadequada de resíduos sólidos também pode contribuir para o aumento da poluição ambiental. Na figura 1 a baixo segue o exemplo de lançamento de esgoto irregular.



*Figura 1-Despejo de esgoto sem tratamento no Rio Paraguai, Cáceres-MT. Fonte: <https://saneamentobasico.com.br/outros/geral/sgoto-despejado-rio-paraguai/>*

Outra problemáticas ocasionadas pela falta do tratamento de esgoto é o impacto na saúde da população por meio da transmissão de doenças. O esgoto doméstico contém uma grande quantidade de microrganismos patogênicos, como bactérias, vírus e parasitas, que podem causar doenças como diarreia, hepatite A cólera, leptospirose e febre tifoide. Além disso, a exposição a substâncias químicas presentes no esgoto também pode causar problemas respiratórios e dermatológicos (SANTANA et al, 2020).

Por se tratar de medidas que impactam toda uma população são necessários medidas em nível governamental como por exemplo a implantação de um sistema de gestão e governança eficientes para o esgotamento sanitário no Brasil, de forma a permitir que todos tenham acesso aos serviços, e que estes se sustentem economicamente (PEREIRA et. al 2020).

Segundo Heck et. al (2012), o avanço da urbanização, a industrialização, do desenvolvimento econômico e do aumento populacional tem, compõe uma série de fatores que acarretam uma maior geração de resíduos. Os despejos inapropriados resultam em problemas sanitários e ambientais como, por exemplo, surgimento de doenças, contaminação das águas drenadas, emissão de odores e gases poluentes e alteração do meio em que é despejado.

Logo a preocupação com a devolução dos efluentes devidamente tratados para os rios está cada vez mais presente no nosso cotidiano. Regiões antropizadas tendem a alterar as características do meio ambiente, e tratar adequadamente os efluentes que serão despejados nos leitos dos rios, faz com que o impacto das ações humanas seja diminuído. A figura 02 abaixo é o exemplo das ações humanas no meio ambiente.



*Figura 2 - Despejo de efluentes Fonte: <http://www.jornaloeste.com.br/noticias/exibir.asp?id=49964> Acessado em: 28/12/2022*

Segundo Uhr et al. (2016 apud BEGUM, AHMED e SEN, 2011; KUMAR e VOLLMER, 2013) o saneamento básico é considerado o instrumento público que apresenta na saúde de menor relação custo quando comparado a efetividade para combater casos de diarreia e outras doenças de transmissão feco-oral relacionadas à água, principalmente em países subdesenvolvidos. Por outro lado, não há consenso sobre quais são as melhores políticas de saneamento. Neste sentido, são muitos os estudos que foram feitos em países em desenvolvimento para responder a essa pergunta.

Logo o combate a ausência ou precariedade dos serviços de saneamento básico se tornou prioridade ao Sistema Único de Saúde (SUS), como ferramenta de prevenção a doenças e consequentemente melhorando a qualidade de vida da população (ARAÚJO et al., 2009).

Segundo o Instituto Trata Brasil, a cada R\$ 1,00 investido em tratamento de efluentes é gerado uma economia de R\$ 4,00 para o sistema público de saúde.

Desta forma, é de suma importância a implementação de métodos de tratamento de efluentes eficazes, de baixo custo e de fácil construção e manutenção, antes de sua devolução aos cursos hídricos. Assim, uma alternativa para o tratamento de efluentes é a implantação de um Sistema Alagado Construído (SAC). (ALMEIDA et al, 2020).

Segundo Salatti (2003), os alagados construídos apresentam melhores alternativas de tratamento de água, quando comparado aos alagados naturais, devido ao fato de ser feito um controle desde de o fluxo hidráulico, até a aferição da sua eficiência na remoção dos poluentes.

Com o passar dos anos e à medida que os estudos sobre os alagados construídos vêm sendo feitos, novas configurações surgem de modo que se otimize a depuração dos efluentes. Segundo Wei et al (2020) o a concepção do tipo mais apropriado de alagados construído está diretamente ligada as condições ideais do próprio ambiente em que será inserido, pois dessa forma fica favorável condições para as reações naturais, permitindo a absorção de nutrientes dentro do sistema e a consequente degradação dos compostos poluentes em questão, análogos a um sistema natural.

Por se tratar de medidas que impactam toda uma população são necessários medidas em nível governamental como por exemplo a implantação de um sistema de gestão e governança eficientes para o esgotamento sanitário no Brasil, de forma a permitir que todos tenham acesso aos serviços, e que estes se sustentem economicamente (PEREIRA et. al 2020).

Algumas destas medidas foram tomadas que segundo Pereira et. al (2020) temos a lei 11.445/2007 que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico e mais recentemente a lei 14.026/2020 que atualiza o marco legal do saneamento básico e atribui à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) a competência de instituir normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico. Na figura 3 a seguir segue a linha temporal de como serão executadas as ações a partir do Marco Legal do Saneamento.





**Figura 3 - Linha temporal do Marco de Saneamento** Fonte: <https://coresab.com.br/2022/05/26/painel-de-monitoramento-da-implementacao-do-novo-marco-legal/> Acessado em 28/12/2022

Desta maneira destacam-se os alagados construídas (ou artificiais), que por sua vez combinam várias estratégias para simular ecossistemas naturais, utilizando os princípios básicos de modificação da qualidade da água. (SALATTI, 2003).

Além de poder ser implantada em diferentes etapas no tratamento de águas residuais, outro fator que contribui para a implantação dos alagados construídos no Brasil, é o baixo custo e simplicidade de execução e operação, uma vez que as condições climáticas aqui existentes são favoráveis. (BRASIL, 2008).

Diante dos resultados obtidos na simulação dos alagados construídos em bancada constatou-se que houve uma remoção considerável dos poluentes analisados, corroborando mais uma vez, com sua eficácia e futura proposição. Assim, pretendeu-se a realização de variações no sistema filtrante e também no tipo de macrófitas para o caso.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIOS

Conforme estabelecido pela Norma Brasileira NBR 9648 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), datada de 1986, os sistemas de esgotamento sanitário (SES) são constituídos por um conjunto de obras e instalações cujo propósito principal é a coleta e transporte de águas servidas de forma a garantir seu tratamento adequado, de acordo com os padrões sanitários estabelecidos.



Esses sistemas desempenham um papel fundamental na preservação da saúde pública e na proteção do meio ambiente, uma vez que a coleta e o tratamento adequado das águas servidas contribuem para prevenir a contaminação de corpos d'água e a propagação de doenças relacionadas ao saneamento inadequado.

Dentre as obras e instalações que compõem os sistemas de esgotamento sanitário, podem estar incluídas redes de coleta, interceptores, estações elevatórias, estações de tratamento de esgoto (ETEs), entre outras estruturas necessárias para assegurar o adequado encaminhamento e tratamento dos efluentes domésticos e industriais.

O sistema de esgotamento sanitário convencional consiste na captação dos efluentes por uma rede de tubulações que liga a fonte originária (casas, prédios, edifícios comerciais) à uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE). Nesta etapa grande parte dos poluentes são removidos da água até que sejam atingidos limites seguros para o lançamento do esgoto tratado em um rio ou lago, também chamados de corpos receptores (SNIS, 2020).

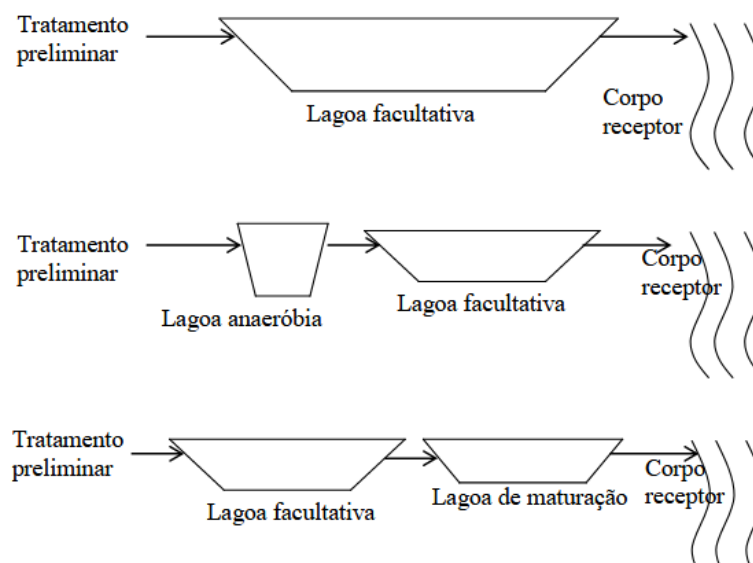
De modo geral os sistemas de tratamento de esgoto são utilizados com o objetivo de criar de modo controlado e mensurável os processos físico, químicos e biológicos de depuração análogos à fenômenos naturais que ocorrem em um corpo hídrico após o lançamento de despejos, garantindo assim uma melhor eficiência na remoção de agentes poluentes. (GOFFI 2017 apud RICHTER, 2007; VON SPERLING, 2014).

De acordo com Von Sperling (2014) a escolha de um sistema de tratamento de águas residuárias está diretamente ligado ao nível de eficiência de remoção na remoção dos compostos poluentes, sendo este um dos requisitos primordiais para a definição dos processos e operações que compõe na unidade de tratamento. Desta maneira, o tratamento de esgotos é comumente é dividido em diferentes níveis distintos: preliminar, primário, secundário e terciário ou também conhecido como avançado, conforme a Figura 4 seguir.

Nível	Remoção	Eficiência de remoção	Mecanismo predominante	Aplicação	Unidade de Tratamento
Preliminar	Sólidos em suspensão grosseiros, materiais de maiores dimensões, areia e gorduras	-	Físico	Montante de elevatória Etapa inicial de todos os processos de tratamento	Grade, Desarenador, Medidor de vazão
Primário	Sólidos em suspensão sedimentáveis DBO em suspensão (matéria orgânica em suspensão componente dos sólidos em suspensão sedimentáveis)	SS: 60-70% DBO: 25-30% Coliformes: 30-40%	Físico	Tratamento parcial Etapa intermediária de tratamento mais complexo	Tanques de decantação, tanques sépticos
Secundário	DBO em suspensão (DBO associada à matéria orgânica em suspensão) DBO em suspensão finamente particulada (DBO associada à matéria orgânica em suspensão não sedimentável) DBO solúvel (matéria orgânica na forma de sólidos dissolvidos) Eventualmente nutrientes Eventualmente patógenos	DBO: 60-80% Coliformes 60-99%	Biológico	Tratamento mais complexo objetivando a remoção de matéria orgânica	Lagoas de estabilização e variantes, Processos de disposição sobre o solo, reatores anaeróbios, lodos ativados e variantes, reatores aeróbios com biofilmes
Terciário ou Avançado	Nutrientes Organismos patogênicos Compostos não biodegradáveis Sólidos inorgânicos dissolvidos Sólidos em suspensão remanescentes Substâncias tóxicas Metais pesados	-	Biológico ou Físico-químico	Tratamento avançado objetivando a remoção de nutrientes e patógenos	Lagoas de estabilização e variantes, Processos de disposição sobre o solo, lodos ativados e reatores aeróbios com biofilmes, lagoas de maturação e polimento, cloração, ozonização, radiação UV, membranas

**Figura 4 - Níveis de tratamento de efluentes – Fonte Adaptado de Metclaf, Eddy (2003) e Von Sperling (2014)**

No Brasil, o nível de tratamento predominante é o secundário sendo predominante o uso de lagoas de estabilização, com por sua vez, contém alto potencial de remoção de patógenos (lagoas de maturação) e matéria orgânica (lagoas facultativas), entretanto baixa eficiência na eliminação de nutrientes, sais, orgânicos, que, em elevadas concentrações, comprometem a qualidade das culturas e do solo (ROCHA, 2021 apud FERREIRA et al., 2020) como ilustrado na figura 5 abaixo.



**Figura 5 - Esquema de coleta e tratamento de esgoto – Fonte: GEHLING (2017)**

As lagoas de estabilização podem ser dispostas em arranjos distintos com relação a quantidade e disposição, de modo que se alcance a eficiência esperada, apresentando obstáculos e diferenças de níveis entre elas, atingindo assim o tempo de depuração necessário, para a remoção de patógenos (FILHO 2007 apud CAVALCANTI et al, 2001; TAKEUTI, 2003)

Conforme destacado por Gehling (2017), as lagoas de estabilização representam uma tecnologia de tratamento de efluentes particularmente adequada para países em desenvolvimento. Esses sistemas não apenas demandam grandes extensões de áreas para sua implantação, mas também se distinguem por operarem sem a necessidade de energia elétrica ou equipamentos de tecnologia avançada.

Entretanto, é importante notar que, apesar de sua eficácia e praticidade, a implementação de lagoas de estabilização não é amplamente difundida em todas as regiões do Brasil. Na realidade, essa prática é mais comum em grandes centros urbanos e locais mais desenvolvidos, deixando muitas áreas, especialmente em regiões mais afastadas e menos desenvolvidas, desprovidas de sistemas adequados de coleta e tratamento de esgoto.

Essa disparidade na distribuição de serviços de saneamento básico é evidenciada pelo Atlas de Esgoto da Agência Nacional de Águas (ANA), atualizado em 2023, que aponta que apenas 31% da população brasileira possui acesso a sistemas de coleta e tratamento de esgoto. Isso significa que cerca de 42% da população não é atendida por esses serviços essenciais de saneamento.

A implementação de novas tecnologias no tratamento de efluentes é crucial para garantir que todos os setores da sociedade tenham acesso a serviços de saneamento básico adequados. Essas novas tecnologias não apenas podem expandir a cobertura de tratamento de esgoto, mas também podem melhorar a eficiência dos processos de tratamento, reduzir os impactos ambientais e promover a sustentabilidade a longo prazo.

Investir em tecnologias inovadoras no tratamento de efluentes pode incluir o desenvolvimento de sistemas descentralizados, como reatores anaeróbios, biofiltros e *wetlands* construídos, que podem ser implementados em áreas onde a infraestrutura centralizada é inviável ou economicamente inacessível. Além disso, a adoção de tecnologias mais avançadas, como membranas de ultrafiltração e osmose reversa, pode melhorar a qualidade da água tratada, tornando-a adequada em diversas aplicações.

## 2.2 IMPACTOS DA POLUIÇÃO SOBRE O MEIO AMBIENTE

O aumento da interferência do ser humano sobre o meio ambiente fez surgir a necessidade da utilização de diversas formas para a remoção da poluição. A remoção da poluição, juntamente com a preservação do meio ambiente, são as ferramentas que temos disponíveis para a continuidade dos recursos existentes em nosso Planeta. Desta forma a água merece destaque, por serem recursos finitos e indispensáveis a vida. (CHAGAS, 2012).

Os resíduos produzidos decorrentes da atividade humana, causam desequilíbrio no meio ambiente onde é despejado, impactando no habitat para todos os seres vivos. A presença de sólidos suspensos, nitratos, nitritos, amônia, variações na demanda bioquímica de oxigênio de uma região influenciam diretamente na presença de organismos e microrganismos, que por sua vez indicam a qualidade da água em uma determinada região. (CIONI, 2010).

Segundo Rossoni et al (2020) o setor de saneamento — principalmente os de provisão de água e esgotamento sanitário — ainda precisa que se tenha uma melhora em sua gestão, tendo em vista a subvalorização desta disciplina, que por sua vez tem grande influência na qualidade de vida das pessoas.

Por volta dos anos 50 e 60 criou-se legislações para a preservação dos recursos hídricos no mundo. Inicialmente na França no ano de 1959, foi criado o Código Rural que atentava a esta pratica. Posteriormente, Suécia, Holanda e Japão, criaram normas punitivas acerca da poluição do meio ambiente. Nos Estados Unidos da América, na década de 70, foi criada legislação específica sobre poluição ambiental, prevendo entres outros atos punitivos a própria prisão do infrator. (MIGLIARI JR, 2001)

No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos proteção às águas foi institucionalizada com a promulgação da Lei nº 9.433/1997, onde o foi criado o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Desde então uma maior quantidade de opções de sistemas de tratamento de efluente se tornou necessidade, diante do aumento vertiginoso dos meios de produção e da própria população. (CHAGAS, 2012).

Tal assunto não poderia estar mais em ênfase atualmente desde que foi introduzido recentemente um novo marco regulatório para o saneamento básico nacional através da Lei 14.026/2020. Tal marco apresenta metas ambiciosas, dentre elas atender 99% da população com distribuição de água potável e 90% da população ter acesso a coleta e tratamento de esgoto.

Desta maneira os alagados construídos se apresentam como uma maneira de tratamento de efluente como alternativa, com uma execução de baixa complexidade e fácil aplicabilidade.

### 2.3 ALAGADOS CONSTRUÍDOS

Os alagados construídos ou wetland construídos se tratam de um sistema de tratamento de águas servidas, que utiliza o princípio do solo úmido cultivado, onde o solo e a zona de raízes desempenham em conjunto a depuração do efluente, através de processos físicos, químicos e biológicos. (SILVA, 2007). Também são conhecidos como sistemas de tratamento de efluente adaptáveis, amplamente difundido no mundo nos últimos tempos. Devido a esta exposição e utilização, uma ampla gama de estudos a cerca deste sistema, vem sendo produzidos e apresentados ao redor do mundo (SALATTI, 2003).

Estes sistemas foram criados de modo que o tratamento da água é realizado semelhante aos processos naturais, envolvendo o solo, a vegetação e microrganismos. (PHILIPPI; SEZERINO, 2004).

Inicialmente esta tecnologia foi aplicada na Alemanha, em meados da década de 50 (KADLEC & KNIGHT, 1996). No Brasil foi introduzida na década de 80, para despoluição de águas servidas pelos pesquisadores Salati e Rodrigues (SALATI JR.; SALATI; SALATI, 1999).

As discussões sobre sua utilização têm sido muito fomentadas, possibilitando o desenvolvimento de estudos e pesquisas experimentais, com o intuito de expandir o conhecimento sobre a temática (HABERL, 2003). Esses sistemas podem tratar vários tipos de efluentes, como esgotos domésticos, águas pluviais, efluentes de aterros sanitários e industriais (ORMONDE, 2012).

Compõe um sistema projetado artificialmente, para a utilização de macrófitas plantadas em filtros físicos, geralmente de areia, cascalho ou pedra britada. Nos filtros ocorre a formação de biofilmes, responsáveis pelos processos, químico, físico e biológico de tratamento de águas poluídas. (SOUZA et. al., 2003).

Segundo Salatti (2003), atualmente existem vários a respeito de estudos e experiências de utilização dos alagados artificiais na remoção de nutrientes e contaminantes de esgotos urbanos e industriais. A variação dos resultados obtidos ocorre em função, dos tipos de espécies químicas presentes nesses efluentes, da carga de poluentes da área alagável e o próprio tipo de alagado construído.

Segundo Sezerino (2006) a abrangência destes estudos tem o propósito de melhorar cada etapa do processo de tratamento de efluente, analisando de forma separada e em conjunto os materiais que compõe o filtro, o fluxo empregado, as macrófitas, máximos carregamentos afluentes, depuração, absorção e adsorção de poluentes, estrutura de formação do biofilme e a vida útil do sistema.

Sua aplicabilidade no tratamento de esgotos gerados em pequenas comunidades, sistemas descentralizados e empreendimento habitacionais. Nessas aplicações se destacam os fatores estéticos que proporcionam visual agradável, devido as plantas do sistema, a simplicidade de construção/manutenção, robustez do sistema, ausência de equipamentos eletromecânicos, não necessidade de tratamento e disposição periódica de lodo, reduzidos custos de operação, boa eficiência de remoção da matéria orgânica e sólida em suspensão sendo as principais vantagens do sistema comparado com os convencionais (VON SPERLING, 2014).

No Brasil, não há ainda uma tendência de padronização de uso, tampouco de nomenclatura, sendo assim é provável encontrar diversas denominações sobre o alagado construído, tais como: zona de raízes, filtros plantados com macrófitas, sistemas alagados construídos, leitos cultivados, banhados construídos, biofiltros com macrófitas, entre outros. (SEZERINO, 2015).

### **2.3.1 Tipos de alagados construídos**

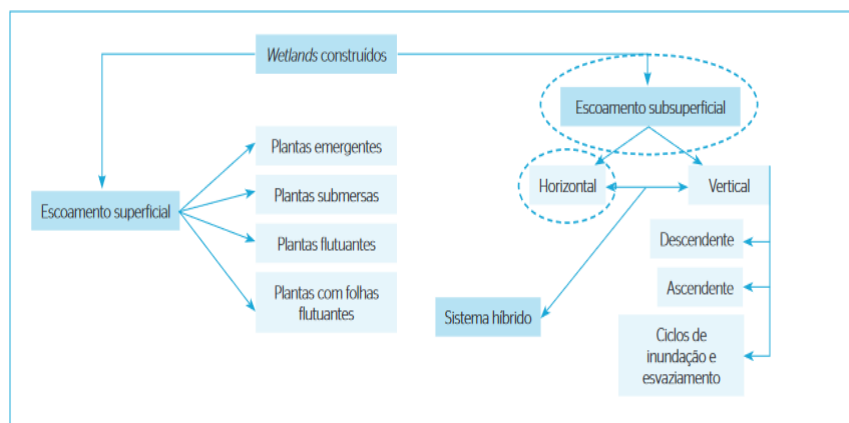
A escolha para as plantas que irão compor o sistema de alagado construído vai variar de acordo com vários fatores, dentre eles estão: fácil propagação e crescimento rápido; alta capacidade de absorção de poluentes; tolerância a ambiente eutrofizado; fácil colheita e manejo e valor econômico. (SOUZA et al, 2004).

Segundo Kuriki (2020, apud Ran et al., 2004) os sistemas com fluxo subsuperficial são mais difundidos no mundo devido a competência no sequestro de altas concentrações de nitrogênio, fósforo e metais pesados, por meio de processos como adsorção e filtração. Dentro os variados processos de retirada do nitrogênio, fósforo e o carbono destaca-se a absorção e adsorção efetuadas pelas macrófita. Esta combinação dos fluxos verticais e horizontais apresentaram boa eficiência e torna a adoção deste sistema de tratamento mais atrativa.

Em relação a seu uso os alagados construídos podem ser classificados em dois tipos: com escoamento superficial e com escoamento subsuperficial. (LIMA, 2016).

O dimensionamento do sistema subsuperficial ocorre de modo que o efluente percole o solo, de modo que não fique excesso sobre a superfície. Segundo Philippi & Sezerino (2004) a classificação de alagados construídos se dá pelo seu fluxo hidráulico, de três maneiras (Figura 06):

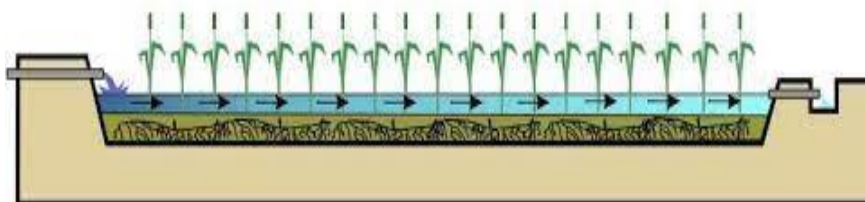
- Alagado Construído de Fluxo Vertical
- Alagado Construído de Fluxo Horizontal
- Sistemas Híbridos.



**Figura 6 - Classificação dos Wetlands (Alagados) Construídos. Fonte:**  
<https://www.scielo.br/j/esa/a/8zwy5WwwLZVxRk5btDHDmK6/?format=pdf&lang=pt>

### 2.3.1.1 Alagados construídos de escoamento superficial

Se tratando do escoamento com fluxo superficial, podemos ainda o dividir em três tipos, levando-se em conta a espécie da planta utilizada, em flutuantes, submersas e emergentes. As flutuantes, tem por característica o desenvolvimento na parte superior da lâmina d'água, as submersas por sua vez se desenvolvem apenas abaixo da lâmina d'água. As emergentes correspondem as espécies que necessitam para o seu desenvolvimento um maciço de suporte sob a lâmina d'água e com a outra parte da planta acima do nível. (SOARES, 2018). Abaixo segue um modelo ilustrativo do sistema.



**Figura 7 - Alagado construído com fluxo superficial com plantas emergentes. Fonte:**  
<https://repositorio.ifs.edu.br/biblioteca/bitstream/123456789/615/1/Soanne%20Hemylle%20de%20Jesus%20Santos.pdf8t697o8bhtw>

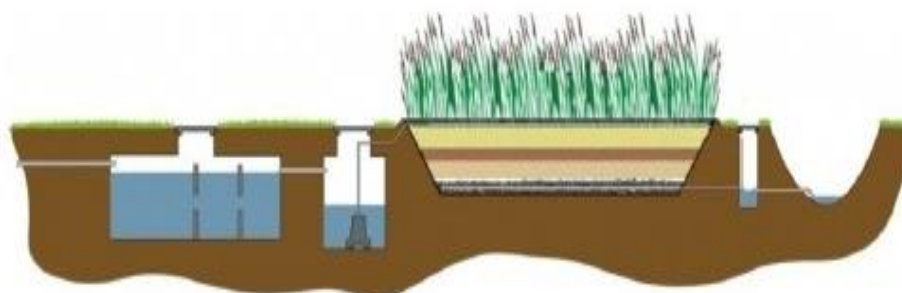
Esse sistema corresponde aos alagados naturais (pântanos) pois contêm plantas aquáticas e uma camada de solo no fundo. Além deste fato apresenta também nível de água visível, escoando livremente entre as plantas aquáticas. Alguns dos exemplos de plantas usadas são as emergentes: *Typha* spp., *Phragmites* spp., *Scirpus* spp; as submersas: *Potamogeton* spp, *Elodea* spp etc. e as flutuantes: *Eichhornia crassipes* (aguapé), *Lemna* spp. (lentilha d'água). As plantas nativas são preferidas (VON SPERLING, 2018).

### 2.3.1.2 Alagados construídos de escoamento subsuperficial de fluxo vertical

Segundo Santos (2017) os alagados construídos de fluxo vertical são um sistema de tratamento de efluente mundialmente difundido, podendo ser aplicado nos níveis primários, secundário e terciário do tratamento.

Nos sistemas de alagados construídos com fluxo vertical, o efluente é depositado na superfície do sistema até sua saturação para posteriormente percolar verticalmente ao longo de todo o perfil vertical do material filtrante, sendo coletado ao final do sistema (OLIVEIRA et al, 2018).

É composto por filtro de areia, cascalho ou brita, plantado com vegetação como ilustrado na figura 8. O fundo do meio filtrante possui uma série canos que drenam e coletam os efluentes tratados. Sua operação se dá por meio de ciclos onde são inseridas quantidades de efluente de modo que o sistema não opere hidraulicamente. Após a percolação efluente, os vazios no filtro são ocupados de ar, facilitando a manutenção de condições aeróbias. O depósito do efluente no sistema ocorre em turnos com unidades em operação e em descanso (VON SPERLING, 2018).



*Figura 8-Exemplo de sistema de alagado construído vertical - Fonte Wetlantec (2008)*

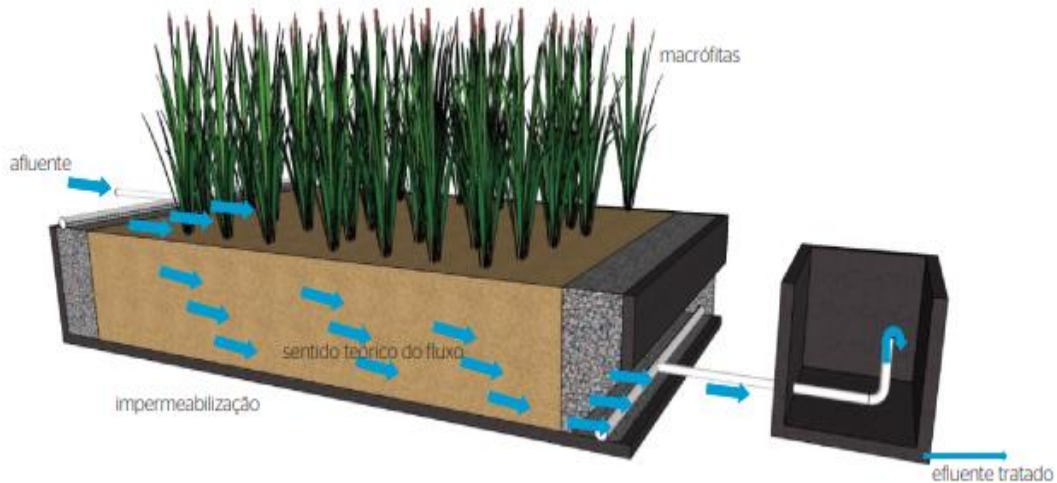
### 2.3.1.3 Alagados construídos de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal

Segundo Sezerino (2015), nos alagados construídos de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal, o esgoto a ser tratado é depositado na zona de entrada, posteriormente percolando lentamente entre a região de camada filtrante até atingir a porção final, também composta por brita e chamada de zona de saída. Essa percolação tende a seguir na horizontal e é impulsionada por uma declividade de fundo.

Seu leito é composto por um maciço filtrante que incluem areia, britas, cascalho, ou outros materiais semelhantes, que sirva de suporte ao desenvolvimento das macrófitas. O nível d'água fica não deve ficar acima da superfície do leito de modo que a percolação do efluente ocorra em contato com as raízes e os rizomas das plantas, desenvolvendo um biofilme bacteriano, não ficando disponíveis ou visíveis para a biota aquática. Alguns dos exemplos de gêneros de plantas



são *Scirpus* spp., *Typha* spp. (taboa), *Zizanopsis* spp., *Pennisetum* spp. (capim elefante), *Canna* spp. (biri), *Cyperus* (papiro), *Phragmites* spp., dentre outros (VON SPERLING, 2018). A imagem abaixo exemplifica o modelo de um alagado construído de fluxo subsuperficial.



*Figura 9 - Alagado construído subsuperficial horizontal - Fonte Sezerino (2015)*

#### 2.3.1.4 Sistemas híbridos

Segundo Rouso (2017) os sistemas híbridos de alagados construídos são definidos pela utilização de dois ou mais tipos de sistemas em conjunto, que tem por objetivo atingir um nível de remoção de poluentes maior, quando comparado aos sistemas operando isoladamente.

A intenção de alternar sistemas e opera-los em conjunto é aproveitar das características que a diversidade pode oferecer.

Como por exemplo um arranjo bastante difundido seria a sequência de um sistema de alagado construído de fluxo subsuperficial vertical, seguido por um sistema de alagado construído de fluxo subsuperficial horizontal. Este modelo de arranjo favorece tanto a remoção de sólidos suspensos e depuração de matéria orgânica, característico do alagado de fluxo vertical, como a remoção de nitrogênio total através da desnitrificação, que é mais característico no alagado de fluxo horizontal. (ROUSSO, 2017).

Na figura 10 abaixo, segue uma aplicação de um sistema híbrido de alagados construídos.

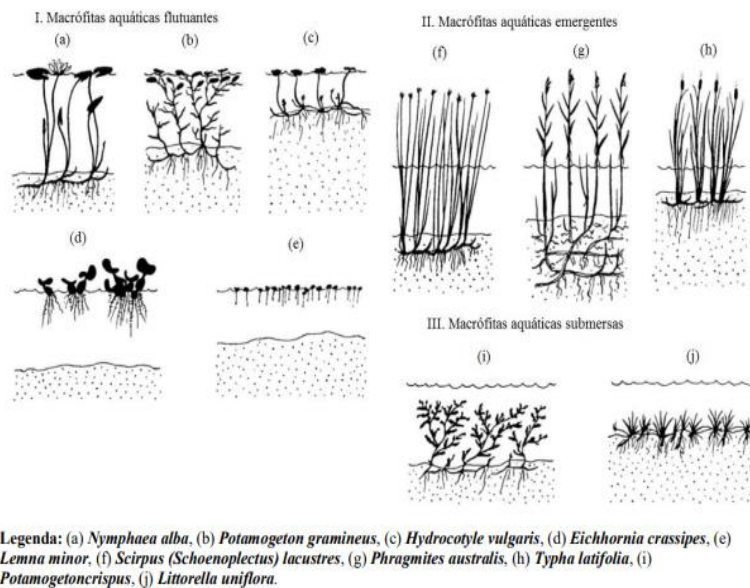


Figura 10 - Estação de tratamento de efluentes CETREVI. Fonte: Favretto (2017)

## 2.4 APLICAÇÃO DAS MACRÓFITAS NOS ALAGADOS CONSTRUÍDOS

As macrófitas aquáticas são espécies de plantas que estão inseridas permanentemente ou por alguns meses do ano, de maneira submersa em água ou flutuantes em sua superfície (PEZZATO, 2007 apud COOK et al., 1974).

Segundo Esteves (1998) as macrófitas aquáticas podem ser classificadas em cinco grupos ecológicos, de acordo com sua morfologia e condições ambientais a que estão expostas. São eles: emergentes, com folhas flutuantes, flutuantes, submersas fixas e submersas livres, como ilustradas abaixo.



E

Figura 11 - Tipos de macrófitas - Fonte Kadlec e Wallace (2009)

A inclusão das macrófitas no tratamento de águas residuárias vem sendo amplamente estudado, devido aos bons resultados apresentados no auxílio da remoção de nutrientes, tais como Fósforo e Nitrogênio, metais pesados, além de outras substâncias, inclusive no controle e remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) (SILVA et al 2019 apud TIMM, 2015).

Como tratado acima a escolha da macrófita para aplicação ao tipo do alagado construído (fluxo superficial e fluxo subsuperficial).

Além disso a macrófita deve conter resistência aos poluentes presentes no efluente a ser tratado, uma vez que os processos bioquímicos (absorção e adsorção) no corpo d'água e nos sedimentos são estão diretamente ligados a espécie escolhida para o alagado construído. (BERMÚDEZ et al 2022, apud REJMANKOVA, 2011).

### **3 ANÁLISE DE TÉCNICO-ESPACIAL COMPARATIVA ENTRE ALAGADOS CONSTRUÍDOS X LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO**

A escolha de um sistema de tratamento de esgoto pode deve ser uma decisão tomada a partir de análise de uma série de fatores. Segundo Melo e Lindner (2013) estes fatores podem ser listados como: área disponível para implantação; características topográficas e hidrológicas da bacia onde será inserido o sistema; volumes diários a serem tratados e levando-se em conta os picos de carga hidráulica de efluente; características do corpo hídrico que receberá o efluente tratado; complexidade de implantação e operação do sistema; disponibilidade recursos para operação; variações climáticas da região a ser implantado; locais para descarte ou reaproveitamento dos materiais utilizados no sistema.

Neste tópico será comparado os custos de implantação do sistema de alagados construídos ao custo de implantação do sistema de tratamento de efluente através de lagoas de estabilização, tecnologia mais utilizada no Brasil atualmente.

Para efeito de comparação vai ser adotada uma área de estudo análoga a utilizada neste experimento. Esta análise será feita para uma população aproximada de 2000 habitantes, com carga de DBO de 135 g/m<sup>3</sup> (mg/l) e vazão média de 120 L (hab./dia). Desta forma temos uma vazão (Q) de 240 m<sup>3</sup>/d de efluente e uma carga de DBO (L) de 32.400 g/d ou 32,4 kg/d. A temperatura utilizada como parâmetro será (T) 23°C e taxa de aplicação volumétrica de carga orgânica (Lv) será de 0,15 kgDBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>d.

### 3.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO

A metodologia para dimensionamento da lagoa de estabilização será feita segundo Von Sperling (2006) e Pavelli (2004).

O volume requerido no sistema será representado na formula:

$$V = \frac{L}{Lv}$$

$$V = \frac{32,4 \text{ kg/d}}{0,15 \text{ kg/m}^3 \text{d}}$$

$$V = 216 \text{ m}^3$$

O tempo de detenção hidráulica pode ser calculado pela seguinte formula:

$$Tempo = \frac{V}{Q}$$

$$Tempo = \frac{216 \text{ m}^3}{240 \text{ m}^3/\text{d}}$$

$$Tempo = 0,9 \text{ d}$$

A área da lagoa anaeróbia pode ser calculada:

$$A_{anae} = \frac{V}{H}$$

Onde H se é a profundidade da lagoa, adotada em 4 m (PAVELLI, 2004), temos:

$$A_{anae} = \frac{216}{4}$$

$$A_{anae} = 54 \text{ m}^2$$

A taxa de aplicação volumétrica pode ser obtida:

$$\lambda_v = \frac{L}{V}$$

$$\lambda_v = \frac{32,4 \text{ kg/d}}{216 \text{ m}^3}$$

$$\lambda_v = 0,15 \text{ kg/m}^3 \text{d}$$

Segundo Pivelli (2004) a razão comprimento/largura de uma lagoa anaeróbia está na razão de 2/1. Desta forma podemos adotar as dimensões de 10,4 m de comprimento por 5,2 de largura.

Desta maneira podemos calcular a taxa de aplicação superficial de DBO, onde:

$$\lambda_s = \frac{L * 10.000}{A}$$

$$\lambda_s = \frac{32,4 * 10.000}{10,4 * 5,2}$$

$$\lambda_s = \frac{32,4 * 10.000}{10,4 * 5,2}$$

$$\lambda_s = 5.991 \frac{kg}{d * ha}$$

Para o cálculo de dimensionamento das lagoas facultativas através do método de cargas superficiais sendo que houve uma remoção esperada de 50% da carga de DBO do efluente ao passar pela lagoa anaeróbia. Para o cálculo temos:

$$A_{facul} = \frac{Li * Q}{\lambda_s}$$

$$A_{facul} = \frac{16,2 * 240}{5991}$$

$$A_{facul} = 0,65 \text{ ha}$$

$$A_{facul} = 6500 \text{ m}^2$$

As dimensões para a lagoa facultativa seguem a razão comprimento/largura de uma lagoa anaeróbia está na razão de 3/1. Desta forma podemos adotar as dimensões de 140 m de comprimento por 47 de largura, podendo ser divididas em mais de uma lagoa, interligadas entre si. A profundidade média adotada para a lagoa facultativa é de 2,00 metros.

A área total requerida para o sistema de tratamento com lagoas de estabilização devem ser a soma das lagoas anaeróbias e facultativas multiplicadas por um coeficiente de correção prevendo outras áreas de influência. Neste caso será aplicado um fator de correção de 30%.

$$A_{total} = (A_{anae} + A_{facul}) * 1,3$$

$$A_{total} = (54 + 6580) * 1,3$$

$$A_{total} = 8624,2 \text{ m}^2$$

### 3.2 DIMENSIONAMENTO DE ALAGADOS CONSTRUÍDOS

Ao compararmos com os alagados construídos para que sejam respeitadas as mesmas condições de depuração temos que prever um tanque séptico e um filtro anaeróbio associados (ROSA, 2019).

O dimensionamento do tanque séptico segue as diretrizes da ABNT NBR 7229/1993 – Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos, onde seu volume é calculado através da seguinte formula:

$$V = 1000 + N(CT + KLf)$$

Onde:

V = volume útil, em litros

N = número de pessoas ou unidades de contribuição

C = contribuição de despejos, em litro/pessoa x dia ou em litro/unidade x dia

T = período de detenção, em dias

K = taxa de acumulação de lodo digerido em dias, equivalente ao tempo de acumulação de lodo fresco

Lf = contribuição de lodo fresco, em litro/pessoa x dia ou em litro/unidade x dia

Assim temos:

$$V = 1000 + 2000(130 * 0,5 + 137 * 1)$$

$$V = 1000 + 2000(130 * 0,5 + 137 * 1)$$

$$V = 405.000l$$

$$V = 405 m^3$$

Considerando uma profundidade útil de 3,00 m para o tanque séptico temos uma área de 135 m<sup>2</sup>. Aplicando-se a relação 3:1 de comprimento/largura temos as dimensões de 20m por 6,75 m. Esse sistema pode ser dividido em mais de um módulo para facilidade na operação.

Para o dimensionamento do filtro anaeróbio de fluxo ascendente foram seguidas as diretrizes ABNT NBR 13969/1997 – Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação onde o volume útil de leito filtrante (Vu), onde:

$$Vu = 1,6NCT$$

N = número de pessoas ou unidades de contribuição

C = contribuição de despejos, em litro/pessoa x dia ou em litro/unidade x dia

T = período de detenção, em dias

Assim é calculado como:

$$Vu = 1,6 * 2000 * 130 * 0,5$$

$$Vu = 208 m^3$$

Será utilizada a altura máxima permitida por norma do leito filtrante, incluindo o fundo falso no valor 1,20 m somado a altura de lâmina livre de 0,15 m, resultando em um valor total de 1,35 m.

Logo a área útil a ser utilizado pelo filtro anaeróbio é de aproximadamente 154 m<sup>2</sup> podendo ser dividido em mais de um módulo.

De acordo com a NBR 13969/1993 o conjunto de tanque séptico e filtro anaeróbio tem índice de eficiência de depuração de poluentes entre 40 a 75%. Admitindo um valor de remoção de 60% se tem uma carga de DBO no valor de 54 g/m<sup>3</sup> (mg/l).

Para a delimitação da área do Alagado Construído foi realizado utilizando-se a equação de Monod modificada para cinética de primeira ordem, a qual resulta na expressão apresentada abaixo.

$$A = \frac{Q \cdot (\ln C_0 - \ln C)}{K \cdot p \cdot n} \quad (1)$$

Onde: A é a área superficial do SAC, em m<sup>2</sup>; Q é a vazão afluente, em m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>; Co é concentração afluente, em g m<sup>-3</sup>; C é a concentração efluente, em g m<sup>-3</sup>; K é o coeficiente de degradação, em d<sup>-1</sup>; p é a profundidade média do SAC, em m; e η = porosidade do filtro do SAC, adimensional.

$$A = \frac{240 \cdot (\ln 54 - \ln 16,2)}{0,36 \cdot 0,35 \cdot 0,70} \quad (1)$$

Para esta análise foi utilizado um coeficiente de degradação utilizado foi de 0,36 d<sup>-1</sup> e porosidade de areia grossa igual a 0,35. a profundidade útil de material filtrante é de 0,70 m.

$$A = \frac{240 \cdot (3,99 - 2,79)}{0,36 \cdot 0,35 \cdot 0,70} \quad (1)$$

$$A = \frac{240 \cdot (3,99 - 2,79)}{0,36 \cdot 0,35 \cdot 0,70} \quad (1)$$

$$A = 3265,31 \text{ m}^2 \quad (1)$$

A área total requerida para o sistema de tratamento com alagados construídos devem ser a soma das áreas dos tanque séptico, filtro anaeróbio e o SAC multiplicadas por um coeficiente de correção prevendo outras áreas de influência. Neste caso será aplicado um fator de correção de 30%.

$$A_{total} = (A_{tanq} + A_{filt} + A_{sac}) * 1,3$$

$$A_{total} = (135 + 154 + 3265,31) * 1,3$$

$$A_{total} = 4620,60 \text{ m}^2$$

### 3.3 COMPARATIVO

Quando comparamos os custos de implementação temos que a lagoa anaeróbia associada a uma lagoa facultativa se torna a opção mais viável. As bases de cálculo para o orçamento foram a SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custo da Construção Civil com mês de referência de 08/2023 e ORSE – Orçamento de Obras de Sergipe com mês de referência de 06/2023. Ambas bases de preços referenciais são utilizadas por instituições públicas para orçamentação de obras e serviços de engenharia e sua utilização está prevista na Lei 14.133/2021 -Lei de Licitações e

no Decreto Federal 7.983/2013 - Estabelece regras e critérios para elaboração do orçamento de referência de obras e serviços de engenharia.

As tabelas a seguir apresenta o orçamento do sistema de lagoa de estabilização.

OBRA: LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO		TABELA REFERÊNCIA:	SINAPI (AGO/2023) ORSE (JUN/23)					
ORÇAMENTO ORIENTATIVO DA OBRA								
BOLETIM	CÓDIGO	BDI	ITEM	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UND.	QUANTIDADE	PREÇO	
							UNITÁRIO (R\$)	TOTAL (R\$)
3.0 LAGOA ANAERÓBIA								
SINAPI	101134	SERVIÇO	3.1	ESCAVAÇÃO HORIZONTAL, INCLUINDO CARGA, DESCARGA E TRANSPORTE EM SOLO DE 1A CATEGORIA COM TRATOR DE ESTEIRAS (100HP/LÂMINA: 2,19M3) E CAMINHÃO BASCULANTE DE 10M3, DMT ATÉ 200M. AF_07/2020	M3	216	14,83	3.203,28
SINAPI	95875	SERVIÇO	3.2	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 10 M³, EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATÉ 30 KM (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	216	2,45	529,20
SINAPI	100576	SERVIÇO	3.3	REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DE SUBLEITO DE SOLO PREDOMINANTEMENTE ARGILOSO. AF_11/2019	M2	54	2,32	125,28
SINAPI	97087	SERVIÇO	3.4	CAMADA SEPARADORA PARA EXECUÇÃO DE RADIER, PISO DE CONCRETO OU LAJE SOBRE SOLO, EM LONA PLÁSTICA. AF_09/2021	M2	178,5	2,73	487,31
<b>SUB-TOTAL 3.0 &gt;&gt;</b>								<b>R\$ 4.345,07</b>
4.0 LAGOA FACULTATIVA								
SINAPI	101134	SERVIÇO	3.1	ESCAVAÇÃO HORIZONTAL, INCLUINDO CARGA, DESCARGA E TRANSPORTE EM SOLO DE 1A CATEGORIA COM TRATOR DE ESTEIRAS (100HP/LÂMINA: 2,19M3) E CAMINHÃO BASCULANTE DE 10M3, DMT ATÉ 200M. AF_07/2020	M3	13.000,00	14,83	192.790,00
SINAPI	95875	SERVIÇO	3.2	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 10 M³, EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATÉ 30 KM (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	13.000,00	2,45	31.850,00
SINAPI	100576	SERVIÇO	3.3	REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DE SUBLEITO DE SOLO PREDOMINANTEMENTE ARGILOSO. AF_11/2019	M2	6.500,00	2,32	15.080,00
SINAPI	97087	SERVIÇO	3.4	CAMADA SEPARADORA PARA EXECUÇÃO DE RADIER, PISO DE CONCRETO OU LAJE SOBRE SOLO, EM LONA PLÁSTICA. AF_09/2021	M2	9.060,00	2,73	24.733,80
<b>SUB-TOTAL 4.0 &gt;&gt;</b>								<b>R\$ 264.453,80</b>
<b>TOTAL GERAL DO ORÇAMENTO &gt;&gt;</b>								<b>R\$ 268.798,87</b>

Já o sistema de alagados construídos associados a tanque séptico e filtro anaeróbio apresentaram um orçamento três vezes maior aproximadamente, como mostra a tabela a seguir.



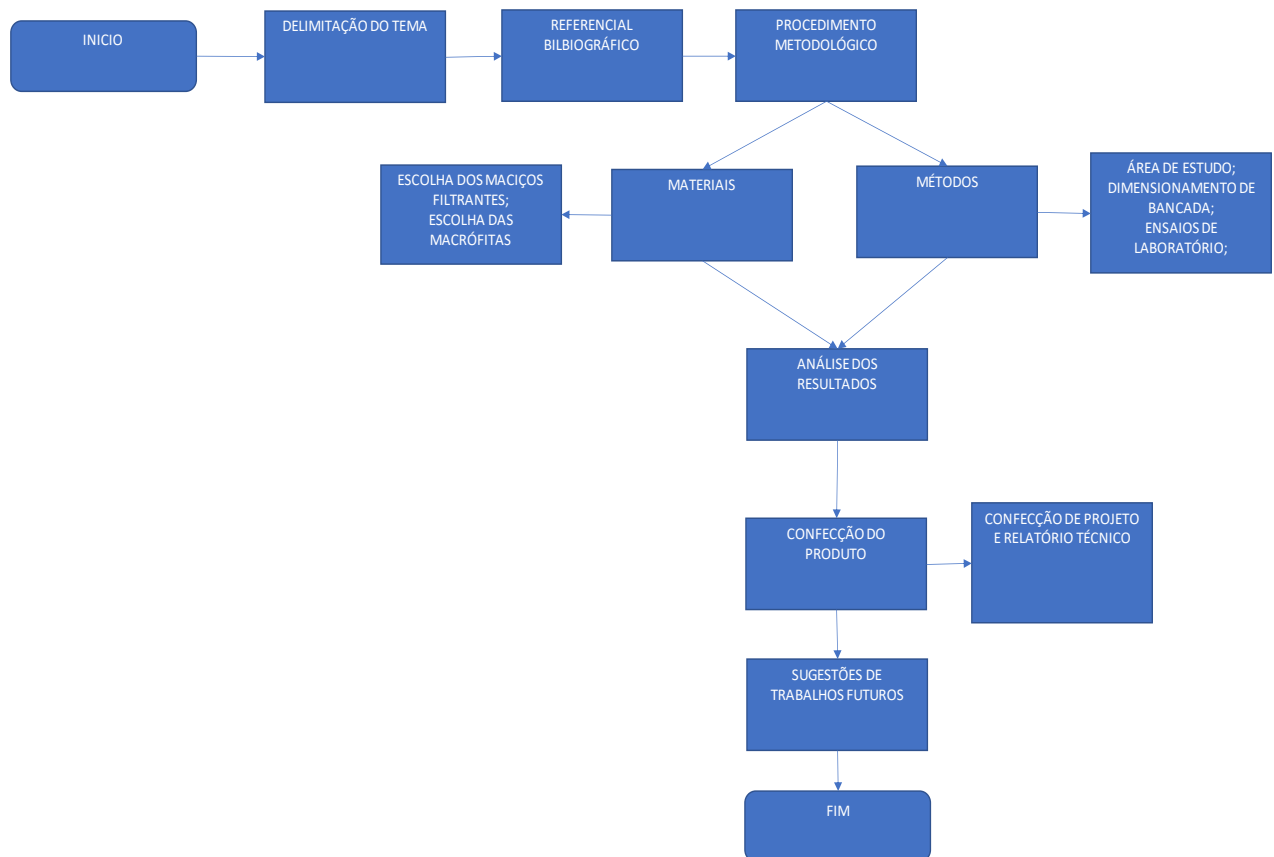
OBRA: SISTEMA DE ALAGADO CONSTRUÍDO		TABELA REFERÊNCIA:	SINAPI (AGO/2023) ORSE (JUN/23)						
ORÇAMENTO ORIENTATIVO DA OBRA									
BOLETIM	CÓDIGO	BDI	ITEM	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UND.	QUANTIDADE	PREÇO		
							UNITÁRIO (R\$)	TOTAL (R\$)	
			3.0	<b>TANQUE SÉPTICO FILTRO ANAERÓBIO</b>					
COMPOSIÇÃO	101133	SERVIÇO	3.0	TANQUE SÉPTICO RETANGULAR, EM ALVENARIA COM TIJOLOS CERÂMICOS MACIÇOS, DIMENSÕES INTERNAS: 3,40 X 10 X H=3,0 M	UND	2	74.390,08	148.780,16	
COMPOSIÇÃO	101134	SERVIÇO	3.1	FILTRO ANAERÓBIO RETANGULAR, EM ALVENARIA COM TIJOLOS CERÂMICOS MACIÇOS, DIMENSÕES INTERNAS: 3,8 X 11,4 X H=1,67 M	UND	3	74.296,41	222.889,23	
							<b>SUB-TOTAL 3.0 &gt;&gt;</b>	<b>R\$ 371.669,39</b>	
			4.0	<b>ALAGADO CONSTRUÍDO</b>					
SINAPI	101134	SERVIÇO	3.1	ESCAVAÇÃO HORIZONTAL, INCLUINDO CARGA, DESCARGA E TRANSPORTE EM SOLO DE 1ª CATEGORIA COM TRATOR DE ESTEIRAS (100HP/LÂMINA: 2,19M3) E CAMINHÃO BASCULANTE DE 10M3, DMT ATÉ 200M. AF_07/2020	M3	3.456,00	14,83	51.252,48	
SINAPI	95875	SERVIÇO	3.2	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 10 M³, EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATÉ 30 KM (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	3.456,00	2,45	8.467,20	
SINAPI	100576	SERVIÇO	3.3	REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DE SUBLEITO DE SOLO PREDOMINANTEMENTE ARGILOSO. AF_11/2019	M2	3.456,00	2,32	8.017,92	
SINAPI	97087	SERVIÇO	3.4	CAMADA SEPARADORA PARA EXECUÇÃO DE RADIER, PISO DE CONCRETO OU LAJE SOBRE SOLO, EM LONA PLÁSTICA. AF_09/2021	M2	4.992,00	2,73	13.628,16	
ORSE	2657	SERVIÇO	3.5	LASTRO DE BRITA 02	M3	1.209,60	192,67	233.053,63	
ORSE	6316	SERVIÇO	3.6	LASTRO DE AREIA	M3	1.209,60	137,96	166.876,42	
ORSE	7661	SERVIÇO	3.6	Planta - Heliconia papagaio (heliconia psittacorum) h=1,00m, fornecimento e plantio	UND	1.728,00	45,88	79.280,64	
							<b>SUB-TOTAL 4.0 &gt;&gt;</b>	<b>R\$ 560.576,45</b>	
<b>TOTAL GERAL DO ORÇAMENTO &gt;&gt;</b>							<b>R\$ 932.245,84</b>		

Porém ao compararmos a aplicação de um sistema lagoas de estabilização ao sistema de alagados construídos, observamos que os SAC utilizam uma área 50% menor com uma eficiência maior nos índices de remoção de poluentes.

Logo a definição de um sistema de tratamento de efluente deve ocorrer de modo multidisciplinar, abarcando o máximo de informações possíveis para a melhor escolha.

## 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a confecção deste experimento em questão foi utilizado vasto referencial bibliográfico aliado a coleta materiais e ensaios em laboratório. Na figura abaixo segue o fluxograma de sua execução.



*Figura 12 - Fluxograma de pesquisa*

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

A região onde foi implantado o estudo compreende o município de Cáceres, localizada a oeste do estado de Mato Grosso, que segundo o IBGE (2021) tem área de 24.538.478 km<sup>2</sup>, como população estimada em 95.339 pessoas.

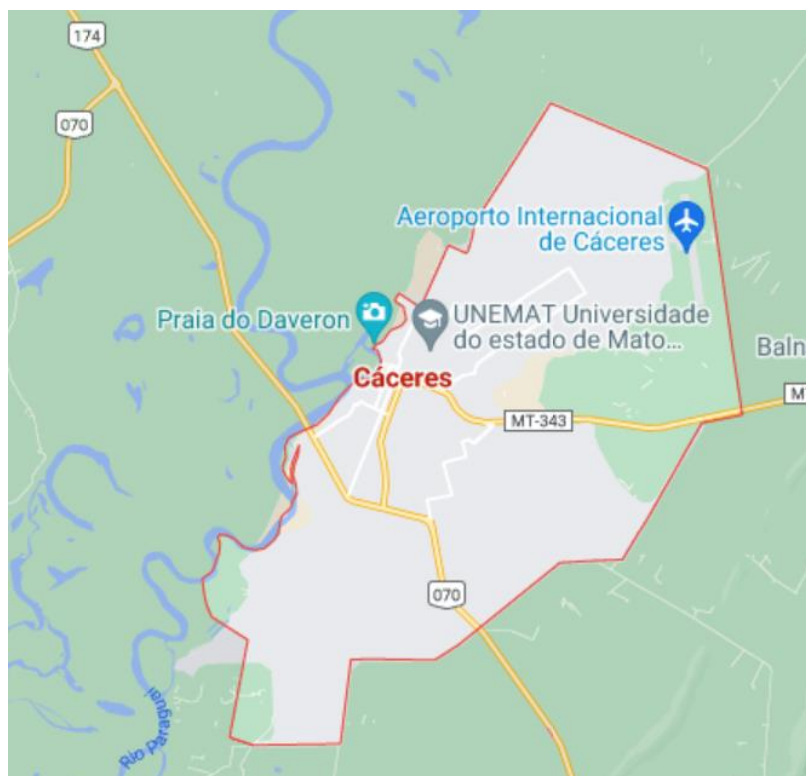


Figura 13 - Município de Cáceres. Fonte: Google Maps

O município de Cáceres, está entre os 78 municípios que estão inseridos na Região Hidrográfica do Rio Paraguai (RH-Paraguai), uma das 12 Regiões Hidrográficas brasileiras que representa a porção brasileira da bacia hidrográfica do rio Paraguai, de abrangência internacional, com uma área aproximada de 362.380 km<sup>2</sup>. (ANA, 2018) como ilustrado na imagem a seguir:

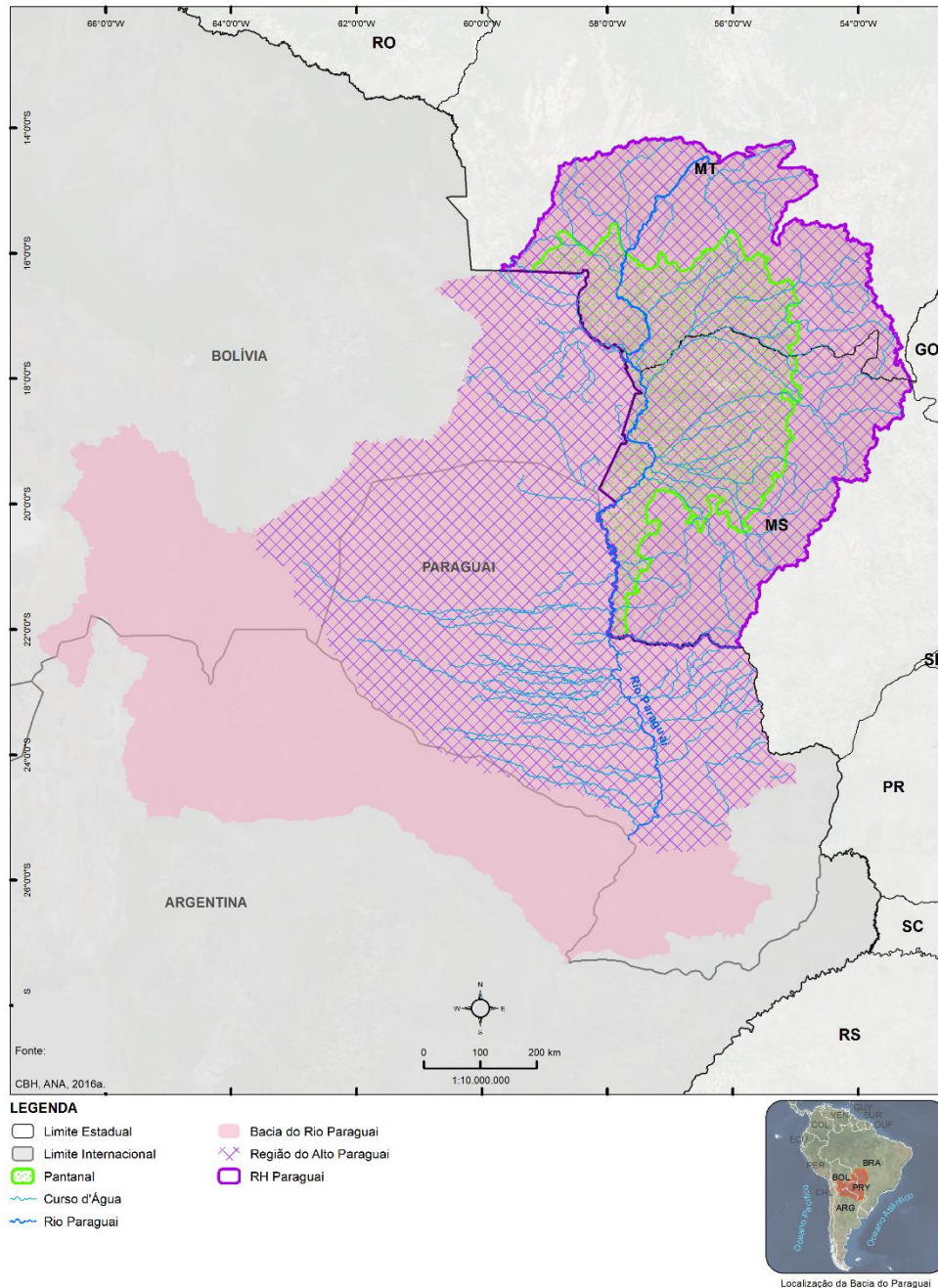


Figura 14 - Macrolocalização da RH-Paraguai Fonte:

Segundo o Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica do Rio Paraguai (ANA, 2018) o rio Paraguai nasce na Chapada dos Parecis, seguindo para a região sul, sendo divisa dos biomas da Amazônia e do Cerrado, até adentrar no Pantanal na região de Cáceres, sendo o principal responsável pela drenagem desta planície.

Tem como principais rios formadores, além do próprio rio Paraguai, os rios: Jauru, Sepotuba, Cuiabá, São Lourenço, Correntes, Taquari, Negro, Miranda, Aquidauana e Apa. (ANA, 2018):

Rica em biodiversidade a bacia do rio Paraguai tem ao longo dos seus 2.621 km uma enorme gama de fauna e flora. É nesta bacia que está inserida o Pantanal Mato-grossense (ANA,2018). O relevo da Região Hidrográfica do Rio Paraguai, está entre 0 e 1.174 m de altitude e apresenta um regime de chuvas bem definido, com precipitação anual variando entre 800 e 2000 mm.

Socioeconomicamente, a RH do rio Paraguai abastece cerca de 2,6 milhões e habitantes, estando presente em diversa áreas econômicas, como turismo, agropecuária, mineração, pesca, entre outros. Potencial este que pode ser aumentado, quando levamos em consideração outras características que podem ser aproveitadas como a capacidade hidroviária na região do Pantanal, e a de produção hidrelétrica na região do Alto Paraguai.

Segundo os dados apresentados pela Autarquia Águas do Pantanal, responsável por gerir os serviços de saneamento básico do município, no ano de 2020 cerca de 86,35% estavam sendo atendidos com serviço de abastecimento de água em pelo menos um cômodo do domicílio. (SNIS 2020). Ainda segundo o SNIS (2020) o índice de coleta de esgoto por sua vez está em torno de 5,05%, sendo que todo o esgoto coletado passa por um tratamento antes de ser devolvido ao corpo hídrico.

## **4.2 COLETA DE MATERIAL**

Em etapa inicial, foi coletado o efluente na Estação de Tratamento de Esgoto no bairro Cohab Nova, localizado no município de Cáceres – MT. Implantada da década de 80, juntamente com o bairro a ETE atende de aproximadamente 568 residências, com uma rede coletora de aproximadamente 5.277 metros de extensão, alimentando em um sistema de lodo ativado, por aeração por ar difuso, seguido de leito de secagem.

O tanque de decantação de capacidade de 410 m<sup>3</sup> de efluente, enquanto o leito de secagem tem capacidade de 93 m<sup>3</sup>.





**Figura 15 - Imagem aérea do local do sistema - Fonte: SplnLab/GPAID – UNEMAT/SINOP**



**Figura 16 - Área de atendimento da ETE - Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico de Cáceres**

A coleta do efluente foi realizada de forma manual, através de uma mangueira e válvula pé de crivo, diretamente do poço de decantação, como ilustrado na imagem abaixo.

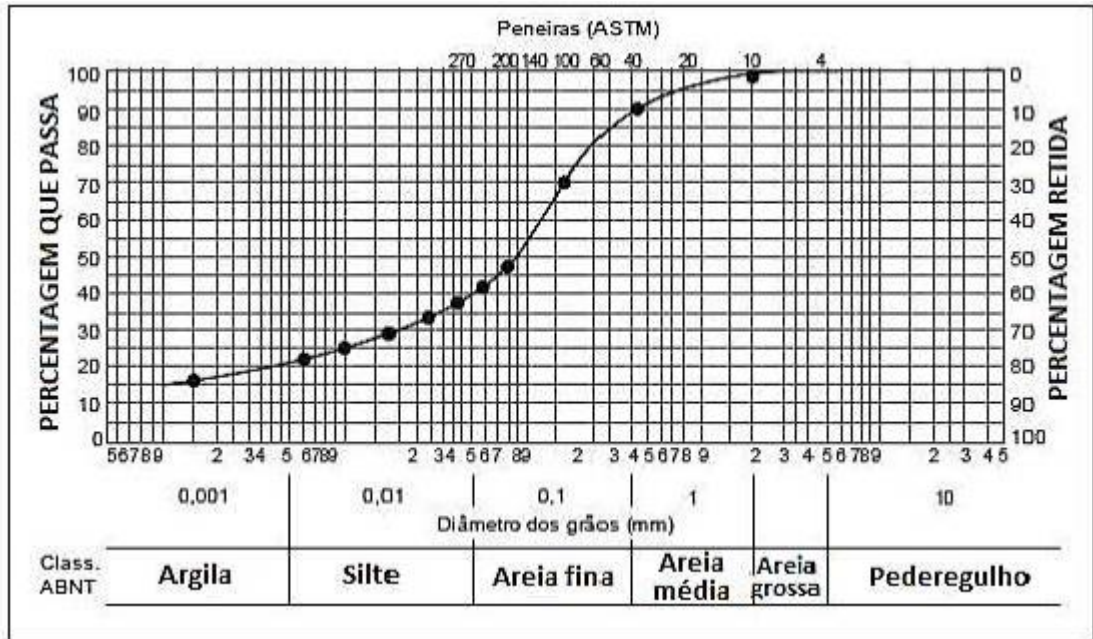


*Figura 17 - Coleta de efluente - Fonte: Autor*

### **4.3 MONTAGEM DOS SISTEMAS DE BANCADA**

Após a coleta e acondicionamento do efluente no laboratório, a próxima etapa do experimento consistiu na montagem das bombonas com os materiais filtrantes. A bombona foi preenchida na proporção em volume de 40% em brita 0 (granulometria entre 4,8 e 9,5 mm) e 60% em areia grossa (granulometria entre 1,2 a 2,0 mm).





*Figura 18 - Gráfico de curva granulométrica*

A coleta do efluente ao fundo do experimento foi feita através de tubos de PVC com diâmetro de 25 mm perfurados unidos a uma flange e uma torneira de jardim, como ilustrado na figura 11.



*Figura 19 - Execução dos filtros de bancada*





*Figura 20 - Bombonas para ensaio*

#### **4.4 MACRÓFITA AQUÁTICA ESCOLHIDA E PLANTIO**

Após as bombonas devidamente montadas foi feito o plantio das plantas aquáticas, que neste experimento em questão foi a *Heliconia psittacorum*, devido a sua abundância local e valor paisagístico.

*Heliconia psittacorum*, também conhecida como bananeira-do-brejo ou bananeirinha, é uma espécie de planta herbácea pertencente à família Heliconiaceae. É nativa das regiões tropicais da América Central e do Sul, como Brasil, Colômbia, Venezuela e Equador.

A espécie é conhecida por suas características flores exuberantes e coloridas, que atraem a atenção devido à sua beleza. As flores são brácteas grandes e vistosas, dispostas em inflorescências eretas. Elas têm formato semelhante ao bico de um pássaro, daí o nome popular "psittacorum", que se refere à semelhança com o bico de um papagaio.

As brácteas das flores da *Heliconia psittacorum* são geralmente vermelhas, amarelas ou laranjas, mas também podem apresentar tons de rosa, verde ou até mesmo mesclar várias cores. Elas contrastam com as flores pequenas e inconspícuas que ficam escondidas dentro das brácteas. Esta planta tem folhas grandes e verde-escuras, dispostas em forma de leque. Ela pode crescer até cerca de 2 metros de altura, formando touceiras densas, sendo amplamente cultivada em jardins tropicais e subtropicais como planta ornamental, devido à sua beleza e resistência.



*Figura 21 - Heliconia psittacorum.*

Além de sua função decorativa, a *Heliconia psittacorum* também desempenha um papel importante na ecologia das regiões onde ocorre naturalmente. Suas flores são uma fonte de néctar para beija-flores, borboletas e outros insetos polinizadores (NASCIMENTO, 2016).

As mudas foram estabelecidas previamente ao início do experimento, ficando 21 dias em aclimação, plantada, no sistema de bancada. Após a completa aclimação, procedemos os ensaios.

#### **4.5 DIMENSIONAMENTO DOS SISTEMAS ALAGADOS DE BANCADA**

O dimensionamento do alagado artificial de bancada foi realizado de acordo com a metodologia indicada por Sezerino (2013), mensurando a carga hidráulica a ser utilizada no experimento, levando-se em conta como base de cálculo a DQO de entrada e a DQO pós-tratada.

Para o experimento foi coletado o efluente, na ETE do município de Cáceres – MT. Ao fazer o ensaio pós-coleta a DQO apresentada foi de 135 mg/l. O parâmetro de DQO pós-tratado foi adotado com base de uma análise de efluente disponibilizada pela Autarquia Águas do Pantanal Assim, calculou-se a carga do WC com a fórmula abaixo:

$$Carga = \frac{Q * C}{A}$$

$$40 \text{ g/m}^2\text{d} = \frac{Q * 130}{0,0572}$$

$$Q = 0,0176 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \text{ ou}$$

$$Q = 17,6 \frac{\text{l}}{\text{dia}}$$

Onde a Carga do efluente foi fixada em 40g de DQO m<sup>2</sup>.d;

Q = Vazão;

C = DQO;

A = Área das bombona (m<sup>2</sup>)

Para o cálculo da área das bombonas seguiu-se a fórmula:

$$A = \pi * r^2$$

$$A = 3,1415 * 0,135^2$$

$$A = 0,05725 \text{ m}^2$$

Onde:

A = Área da bombona (m<sup>2</sup>)

L = Largura da bombona (m)

C = Comprimento da bombona (m)

O resultado de 17,6 litros por dia foi considerado elevado, por ser uma vazão experimental tendo a última coleta do efluente filtrado após 20 horas de experimento, foi adotado a vazão de 5 litros por recipiente, com fundamentação nos estudos de Sezerino & Philippi (2003).

Assim realizando os cálculos com Carga de 10 litros por dia ou 0,010 m<sup>2</sup>d, tem-se:

$$Carga = \frac{Q * C}{A}$$

$$Carga = \frac{0,005 * 130}{0,05724}$$

$$Carga = 113 \text{ mg/m}^2\text{d}$$

O valor obtido de 16 g/m<sup>2</sup>d está adequado, visto que o valor máximo permitido para a carga é de 20 g/m<sup>2</sup>d.

#### 4.6 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

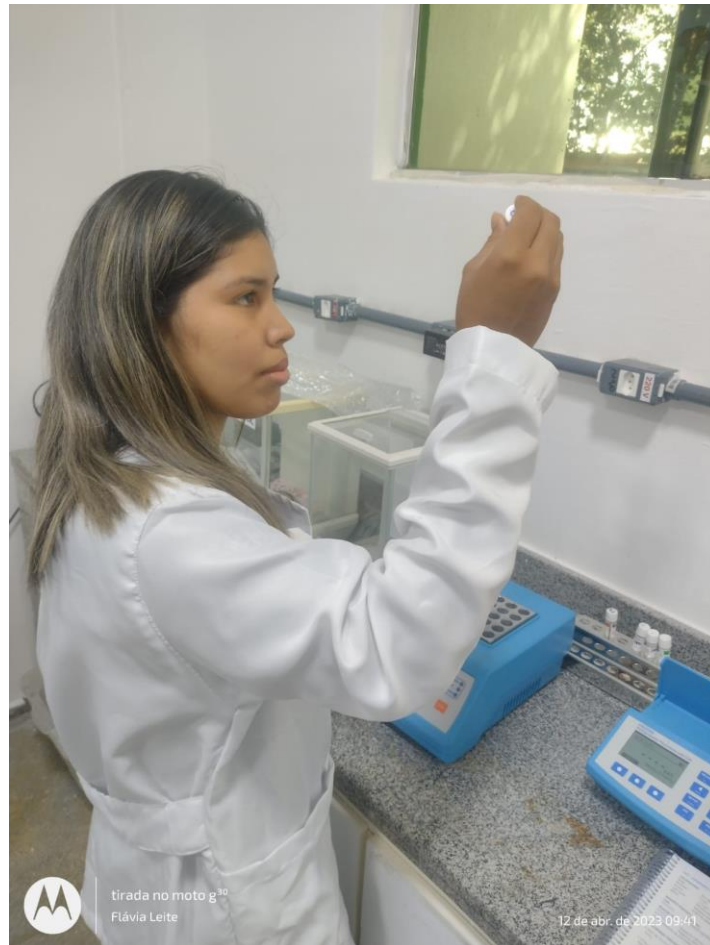
Os ensaios laboratoriais foram realizados no Laboratório de Ictiologia do Pantanal Norte na Universidade do Estado do Mato Grosso no campus de Cáceres, com periodicidade definida pela disposição de materiais e colaboradores, sendo elas: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), fósforo total, nitrato, nitrito, sólidos suspensos e amônia no efluente a monte e a jusante do WC a fim de se analisar a capacidade contributiva do mesmo para o meio ambiente em tese. Foram coletadas 6 amostras de cada bombona com o intervalo de 4 horas entre cada coleta, de modo que totalizou 20 horas de experimento.

Para as análises foi utilizado um Fotômetro Multiparâmetro para análise de águas residuais modelo Hanna HI83399. Para o tratamento dos dados após análise foi utilizado ferramentas computacionais para os cálculos estatísticos e apresentação dos gráficos.

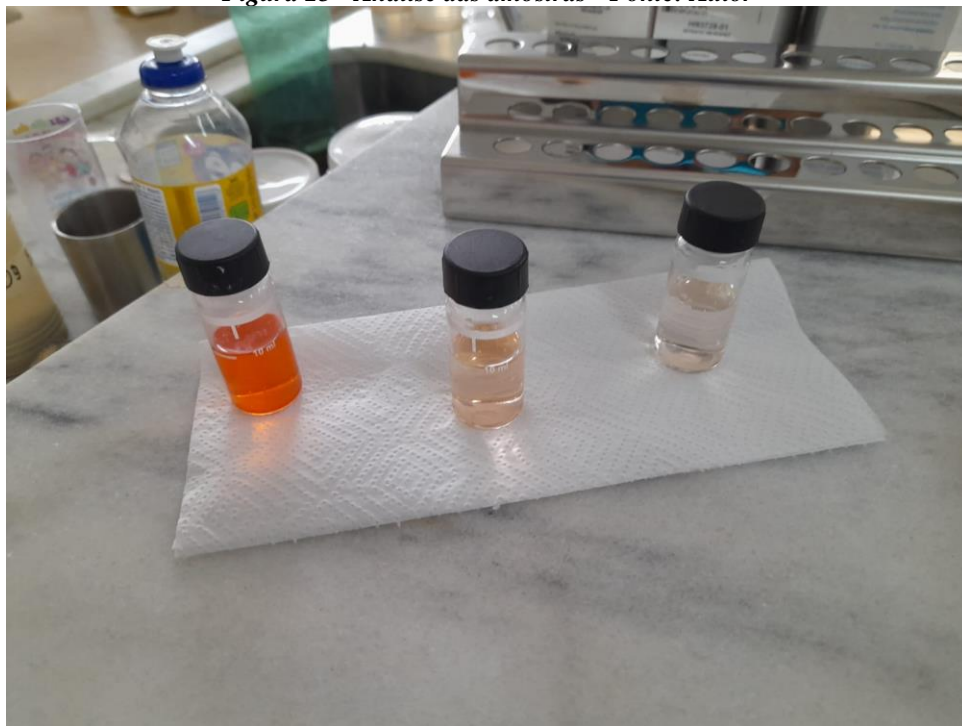
As imagens a seguir (22,23 e 24) ilustram os procedimentos para análise em laboratório.



*Figura 22 - Fotômetro Multiparâmetro Hanna - Fonte: Autor*



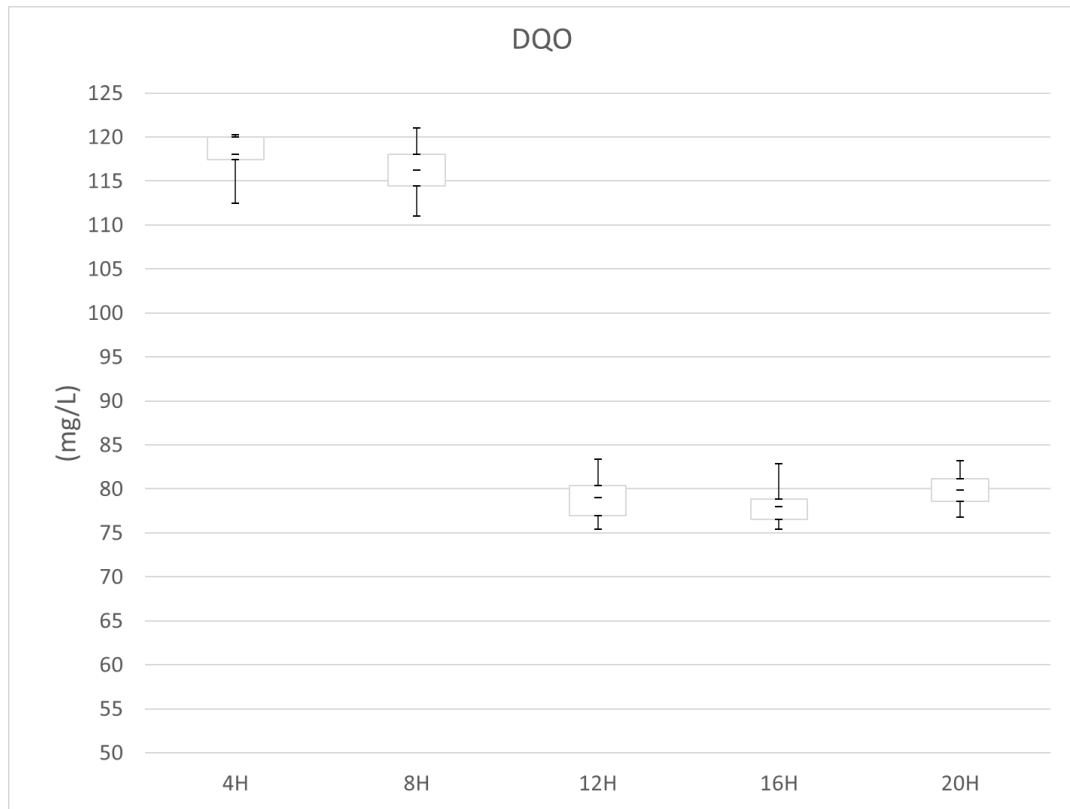
*Figura 23 - Análise das amostras - Fonte: Autor*



*Figura 24 - Amostras de efluente com reagentes - Fonte: Autor*

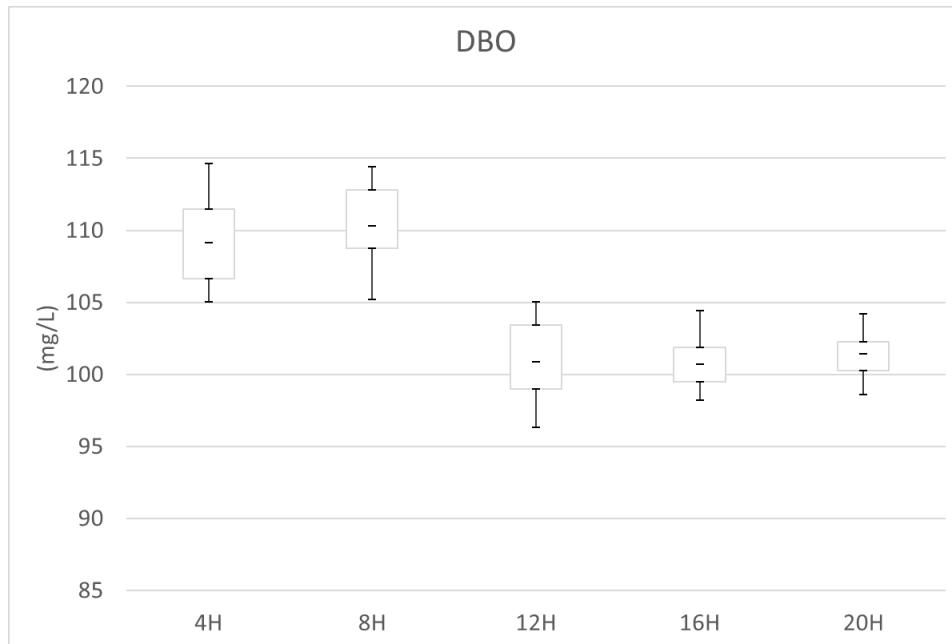
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após os ensaios realizados em bancada, constatou-se uma redução considerável nos parâmetros propostos inicialmente. O gráfico abaixo traz o índice de remoção de DQO.



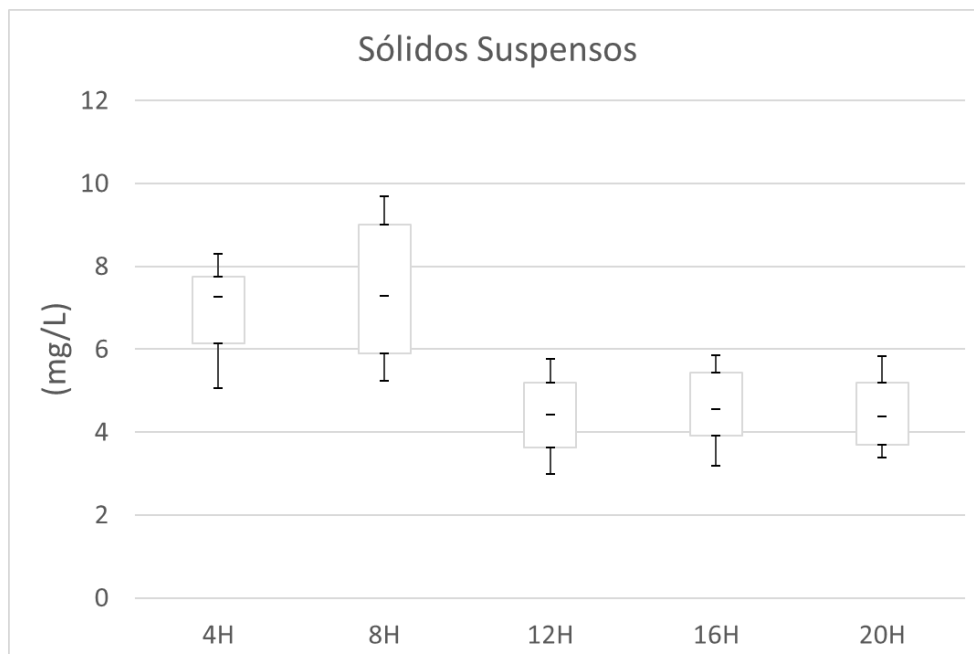
**Figura 25 – Remoção de DQO**

Nos parâmetros de Demanda Química de Oxigênio, observou uma redução de 70%, quando comparado ao efluente recém coletado que apresentou um valor médio de entrada de 267 mg/L de DQO. A partir das 12 horas de coleta para análise podemos observar uma tendência a saturação da remoção, podendo indicar que o experimento chegou a seu limite.



**Figura 26 - Remoção de DBO**

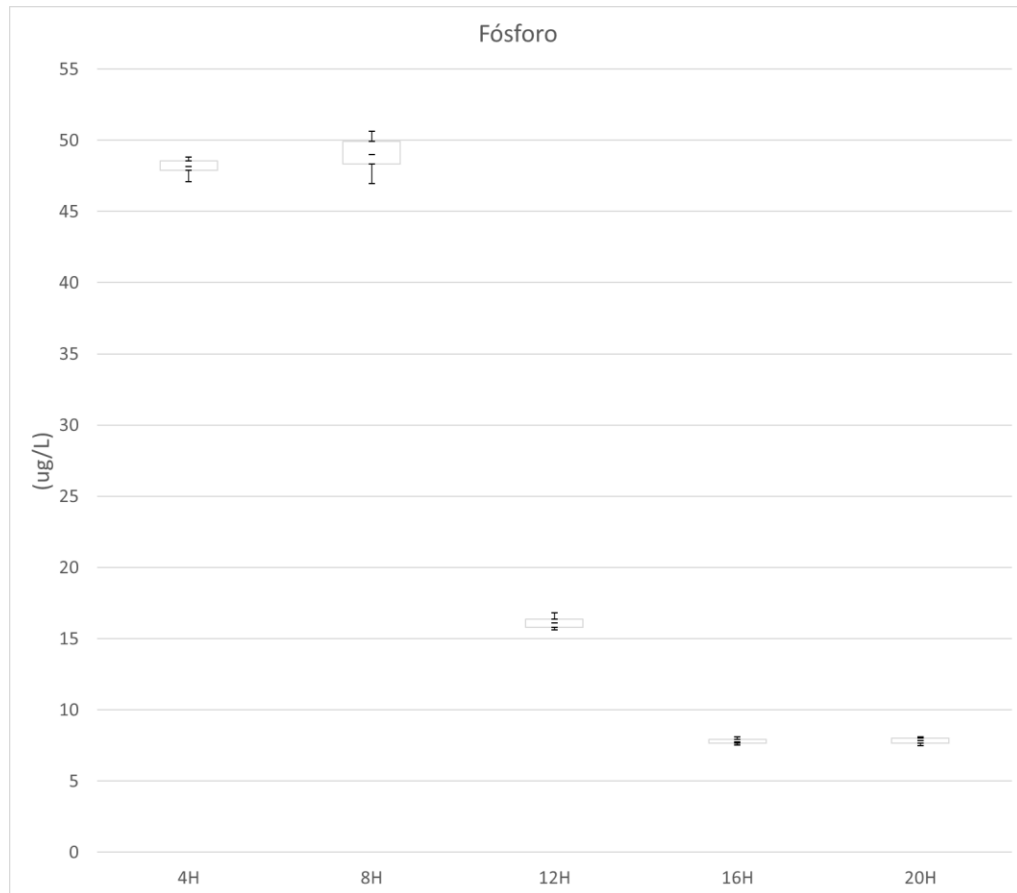
Já para a Demanda Bioquímica de Oxigênio como ilustrado no gráfico acima, observou uma redução em torno dos 15%, sendo que o valor de concentração coletado do efluente foi de 135,61 mg/L. Assim como a DBO, partir das 12 horas de coleta para análise podemos observar uma tendência a saturação da remoção, podendo indicar que o experimento chegou a seu limite.



**Figura 27 - Remoção dos Sólidos Suspensos**

Na análise de remoção dos sólidos suspensos, houve uma grande remoção inicial na ordem de 90% que tinha um parâmetro inicial médio coletado do efluente de 49,963 mg/l como consta no gráfico acima. Resultado esse esperado, devido a remoção dos sólidos suspensos ficar

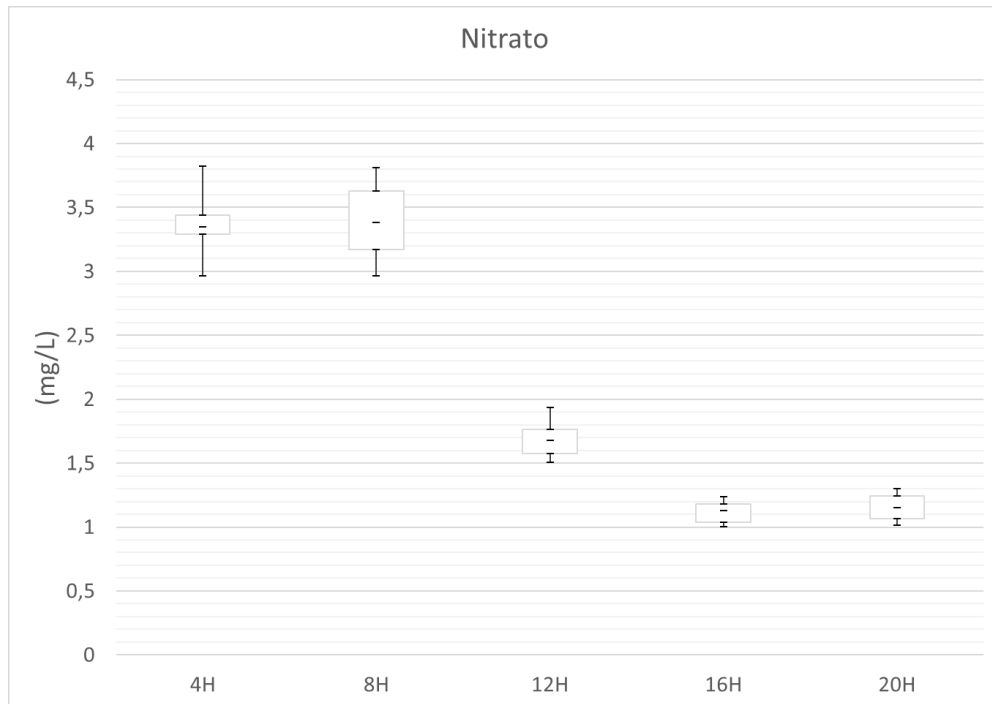
por conta das barreiras físicas do filtro, não sendo necessário esperar as atividades químicas e biológicas que ocorrem.



**Figura 28 - Remoção de Fósforos Totais**

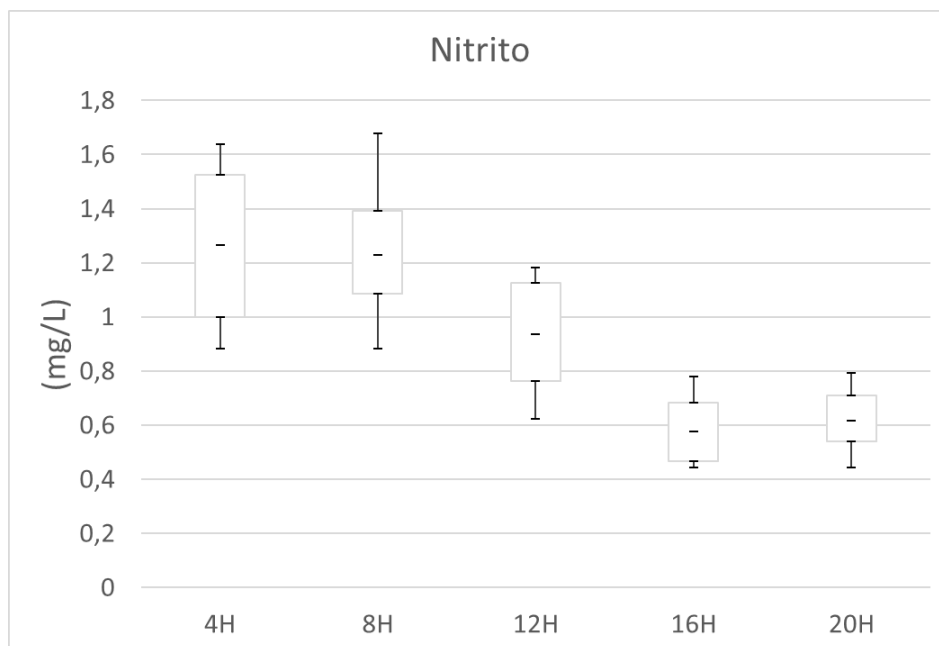
Na análise de remoção dos fósforos totais (figura 28), a maior remoção a partir das 8 horas de experimento, atingindo uma remoção após de 20 horas na ordem de 88% quando comparado aos valores de entrada do efluente que estava entorno de 67,0 ug/L. Desta forma fica evidente que os processos químicos e biológicos nas bombonas tiveram maior redução de fósforo diante de um maior tempo retido no experimento. Nos períodos entre 16 e 20 horas percebe-se uma pequena variação nos índices que pode indicar uma possível saturação do experimento, mas para uma maior assertividade é necessária uma análise maior de tempo para este parâmetro.





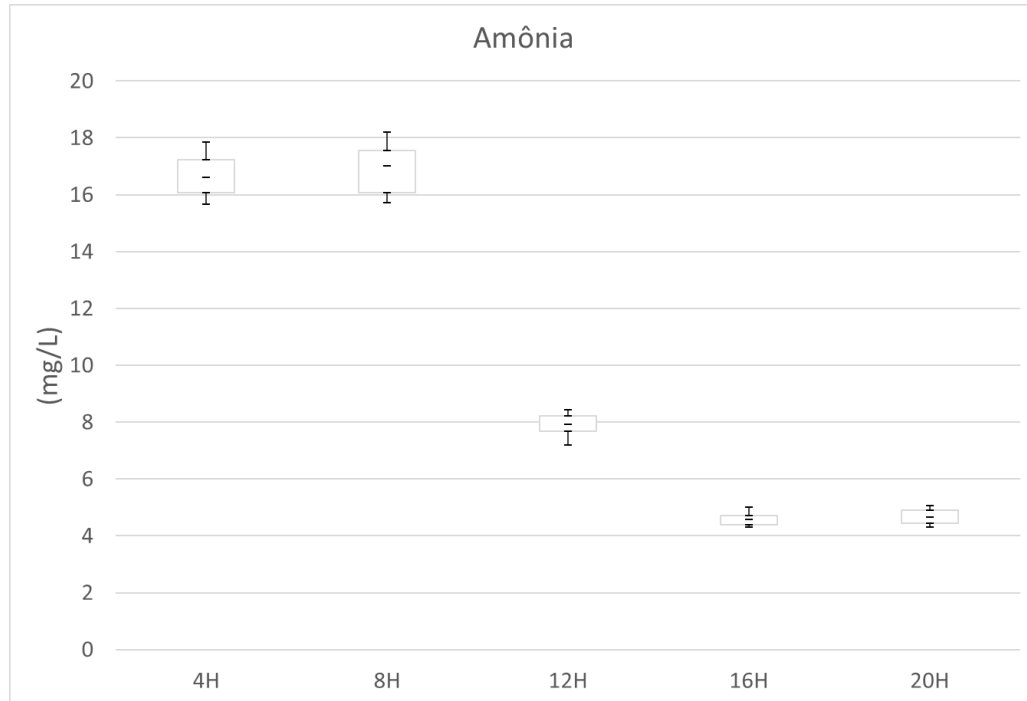
**Figura 29 - Remoção de Nitrato**

Para a remoção de nitrato (figura 29) observou uma redução uma taxa de remoção ficou em torno dos 80% ao comparar com a análise do efluente coletado que teve concentração média de 50,0 mg/L. Esta remoção se dá através de processos biológicos. Com comportamento análogo dos Fósforos Totais, a remoção de Nitrato nos períodos de 16 e 20 horas de experimento, houve uma pequena variação nos índices. Tal fator pode ser consequência de uma saturação do sistema, que poderia ser confirmada com um tempo maior de experimento.



**Figura 30 - Remoção de Nitrito**

Para a remoção de nitrito (figura 30) observou uma redução uma taxa de remoção ficou em torno dos 65% em relação à média de concentração coletada do efluente que foi de 2 mg/L. Do mesmo modo que o nitrato a remoção do nitrito ocorre através de processos biológicos. E com a mesma justificativa de remoção do Nitrato, a possível saturação do sistema deverá ser observada com um maior tempo de coleta e análise.



**Figura 31 - Remoção de Amônia**

A remoção de amônia teve redução uma taxa de remoção ficou em torno dos 85% em relação a concentração média coletada do efluente que foi de 33 mg/L como está ilustrada no gráfico acima. Assim como o nitrito e nitrato, a remoção da amônia ocorre através de processos biológicos. A remoção da amônia ocorreu de forma expressiva já nas primeiras 4 horas de experimento. Após as 8 horas houve outra remoção expressiva. Nos períodos entre 16 e 20 horas pode-se observar uma possível estabilização.

O experimento apresentou índices de remoções consideráveis após 20 horas, apresentando efetividade em um curto período. Porém afim de se avaliar a saturação do sistema, é necessário um período maior de coleta.

Diante da remoção de DQO obtida em no experimento em escala reduzida foi dado prosseguimento para o projeto de implantação utilizando um volume maior de efluente, a fim de se constatar sua aplicabilidade.

Para a delimitação da área do Alagado Construído foi realizado utilizando-se a equação de Monod modificada para cinética de primeira ordem, a qual resulta na expressão apresentada abaixo.

$$A = \frac{Q \cdot (\ln C_0 - \ln C)}{K \cdot p \cdot n} \quad (1)$$

Onde: A é a área superficial do SAC, em m<sup>2</sup>; Q é a vazão afluente, em m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>; C<sub>0</sub> é concentração afluente, em g m<sup>-3</sup>; C é a concentração efluente, em g m<sup>-3</sup>; K é o coeficiente de degradação, em d<sup>-1</sup>; p é a profundidade média do SAC, em m; e η = porosidade do filtro do SAC, adimensional.

Os cálculos de dimensionamento detalhados, bem como o projeto e o relatório técnico seguem em anexo.

Uma ampla quantidade de estudos realizados mostra que os sistemas de alagados construídos vêm se apresentando como uma alternativa sustentável e tecnológica, agregando o baixo custo de implantação, facilidade na operação e manutenção, com outros fatores, como por exemplo contribuição estética para o ambiente.

Como nos ensaios de laboratório foi obtido redução de aproximadamente 70% da Demanda Química de Oxigênio (DQO) e tendo vasta bibliografia justificando a eficiência esperada no dimensionamento do sistema de alagado construído pode se afirmar que é válida a implantação do projeto como alternativa de tratamento de efluentes.

## 5.1 DISCUSSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

Após a implantação os parâmetros que devem ser levados em consideração, são o tempo de saturação do sistema, substituição e descarte adequado dos materiais componentes. Tais parâmetros determinarão a quantidade e a qualidade dos resíduos gerados pelo sistema de alagados construídos.

O reuso e a minimização dos resíduos para descarte são medidas que reafirmam o caráter sustentável da aplicação do sistema de alagados construídos.

Há estudos, por exemplo, que utilizam as macrófitas dos sistemas de alagados para a produção de biomassa e conseqüente produção de energia. Até mesmo no caso da *Heliconia psittacorum* por ser uma planta ornamental pode ter valor econômico agregado a seu corte e substituição. (KONNERUPP; KOOTTATEP; BRIX, 2009)

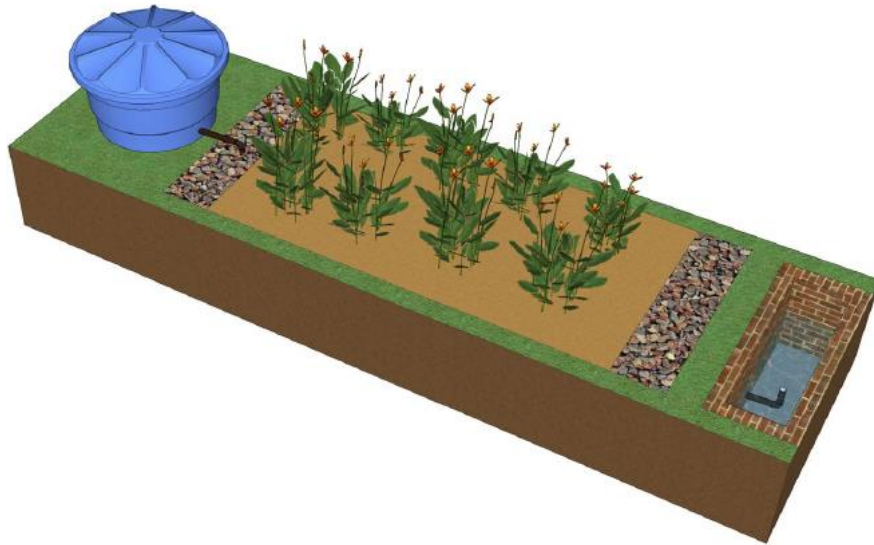
Para os materiais filtrantes, por sua vez deve se fazer um estudo mais aplicado para possível reuso e descarte, devido as substancias que ficam retidas neste maciço. Este material colmatado requer um descarte em local adequado.

A implementação de sistemas de alagados construídos para a ETE de Cáceres, mostrou ser uma boa alternativa para tratamento de esgoto de maneira sustentável. Desde sua concepção, como a escolha dos materiais e plantas são escolhidos de acordo com as características do ambiente em que será implantado.

Como sugestões de trabalhos futuros podemos ampliar para volumes maiores de tratamento de efluente, reciclagem e descarte dos materiais componentes do sistema (areia, brita e macrófitas).

## 6 PRODUTO GERADO

O produto a ser entregue é o projeto de dimensionamento de alagado construído para atendimento da área do estudo, incluindo um relatório técnico para os órgãos responsáveis pelo saneamento básico do município e a lista de materiais para a sua execução. Ambos documentos estão nos apêndices do trabalho.



*Figura 32 - Maquete eletrônica - Fonte: Autor*

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, N. C. de S. et al. **Sistemas alagados construídos: tratamento de baixo custo para esgoto sanitário em áreas rurais**. Research, Society and Development, v. 9, n. 8, 2020. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/5678>>. Acesso em: 29 abr. 2022.

ARAÚJO, A. F. V.; LIMA, J. C. M.; PAIXÃO, A. N.; PICANÇO, A. P. **Avaliação da Eficiência dos Serviços de Saneamento Básico no Combate às Endemias nos Municípios do Estado do Tocantins**. In: VII Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos, São Paulo, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro. 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro. 1986.

AWT (2002). **“Costs considerations”**. *Applied Wetlands Technology*. Disponível em: <http://www.wetlandsoptions.com/service/costs.html>. Acesso em: 10 de novembro de 2019.

BERMUDEZ, V., BECKER, H., RODRIGUES, K., & MATIAS, L. (2022). **Propostas de combinações de macrófitas para uso em wetland construídos a partir de modelos naturais de lagoas rasas**. *Revista AIDIS De Ingeniería Y Ciencias Ambientales*. Investigación, Desarrollo Y práctica, 15(1), 344–363. <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2022.15.1.77936>

BOUTIN, C. E LIÉNARD A. (2004). **“Reed bed filters for wastewater treatment in France: major designs aspects and history of development”**. *Restoring Florida’s Everglades. Magazine of the international water association*, WARER 21, April, 58-60.

BRASIL, M. S.; MATOS, A. T.. **Avaliação de aspectos hidráulicos e hidrológicos de sistemas alagados construídos de fluxo subsuperficial**, *Eng. Sanit. Ambient.* v. 13, n. 3, 2008.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Lei do Saneamento**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. 2007

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº

13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. 2020

BRIX, H. (1997). Macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? **Wat. Sci. Tech.**, v.35, n.5, pp. 11-17.

CAO X., L. JIANG, H. ZHENG, Y. LIAO, Q. ZHANG, Q. SHEN, Y. MAO, F. JI, D. SHI Constructed wetlands for rural domestic wastewater treatment: a coupling of tidal strategy, in-situ bio-regeneration of zeolite and Fe(II)-oxygen denitrification **Bioresour. Technol.**, 344 (2022), Article 126185, 10.1016/j.biortech.2021.126185

CHAGAS, T. W. G.; SALATTI, E.; TAUKE-TORNISIELO, S. M.; **Sistemas construídos de áreas alagadas: revisão da legislação e dos padrões de qualidade da água.** HOLOS Environment, v. 12, n. 01, p. 87, 2012.

CHENG F., C. WANG, C. WEN, S. WANG, H. CHENG, S. SHEN, X. LU Full-scale application and performance of a low-consuming system for decentralized village domestic wastewater treatment **J. Water Process Eng.**, 46 (2022), Article 102594, 10.1016/j.jwpe.2022.102594

CIONI, L.; TAUKE-TORNISIELO, S. M. **Uso de sistemas construídos de áreas alagadas (Constructed Wetland System - CWS) para tratamento de efluentes**, Trabalho de conclusão de curso, UNESP, Rio Claro-SP, 2010

CRANCE, C. & DRAPER, D. Socially Cooperative Choice: an Approach to Achieving Resources Sustainability in the Coastal Zone. **Environmental Management**, v. 20, n. 2, p.175–184, 1996.

ESTEVEZ, F. A. **Fundamentos de Limnologia.** Rio de Janeiro. Interciência, FINEP. 1998. 575.

ESTEVEZ S., S. GONZALEZ-GARCIA, G. FEIJOO, M.T. Moreira How decentralized treatment can contribute to the symbiosis between environmental protection and resource recovery **Sci. Total Environ.**, 812 (2022), Article 151485, 10.1016/j.scitotenv.2021.151485

FAVRETTO, R; GIROLETTI, C. L; MAGRI, M. E; SUNTTI, C; **Avaliação da colmatação após 15 anos de operação de um sistema híbrido de wetland construído.** TECNO-LÓGICA, vol. 22, n. 1, p. 12-17. Santa Cruz do Sul. 2018.

FILHO, P. A. S. **Diagnóstico operacional de lagoas de estabilização.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 169 p. 2007.

GEHLING, G. **Apostila de Tratamento de Água e Esgoto – Lagoas de Estabilização.** Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 13 p. 2017.

GOFFI, A .S. **Uso da análise multicritério para a seleção de tecnologias de tratamento de efluentes.** Dissertação de mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 114 p. 2017.

KADLEC, R. H. (1995). “Overview: surface flow constructed wetlands”. **Water Science e Technology**, 32(3), 1-12.

KONNERUP, D.; KOOTTATEP, T.; BRIX, H. **Treatment of domestic wastewater in tropical, subsurface flow constructed wetlands planted with Canna and Heliconia.** Ecological Engineering, v. 35, p. 248-257, 2009

LIMA, R.F. de S. **Potencialidades dos Wetlands Construídos Empregados no Pós-tratamento de Esgotos: Experiências Brasileiras.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. 81 p. 2016.

LIMA, R.F. de S. **Potencialidades dos Wetlands Construídos Empregados no Pós-tratamento de Esgotos: Experiências Brasileiras.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. 81 p. 2016.

MELO, J. F.; LINDNER, E. A. **Dimensionamento comparativo lagoas versus Wetlands para o tratamento de esgoto em bairro de Campos Novos, SC.** Unoesc & Ciência - ACET, v. 4, n. 2, p181-196, Joaçaba/SC, 2013

MIGLIARI JR., A. **Crimes Ambientais.** 1ª (ed.) Campinas, Interlex Informações Jurídicas, 2001.

NOGUEIRA, G. dos S. .; BEZERRA, G. de S. .; PIANA, PA . **Tratamento de efluente de aquicultura com macrófitas flutuantes: revisão sistêmica e metanálise.** Investigação, Sociedade e Desenvolvimento , [S. l.] , v. 11, n. 4, pág. e36811426533, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i4.26533. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/26533>. Acesso em: 14 mar. 2023.

ONU, **Agenda 21 Global.** Organização das Nações Unidas. Rio de Janeiro. 1992

ORMONDE, V. S. S. **Avaliação de 'Wetlands' Construídos no Pós-Tratamento de Efluente de Lagoa de Maturação.** 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental). Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, 2012.

PARLATORE, A. C. Privatizações do setor de saneamento no Brasil. In: PINHEIRO, Armando Castelar; FUKASAKU, Kiichiro (org.). **A privatização no Brasil: o caso dos serviços de utilidade pública.** Rio de Janeiro, BNDES-OCDE, 2000.

PEZZATO, M. M. **Macrófitas aquáticas submersas: fotossíntese, crescimento e variáveis abióticas da água.** Maura Maria Pezzato. -- São Carlos : UFSCar, 2008. 118 f

PHILIPPI, L. S. e SEZERINO, H. P. **Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas.** 1ª ed. Florianópolis/SC. Ed. do Autor 2004. 144p

ROCHA, J.V.B. **Tecnologias utilizadas nos sistemas descentralizados de tratamento de esgoto sanitário no Brasil.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária). Universidade Federal do Alagoas. 59 p. 2021

RODRIGUES, M.V.C. **Wetland Construído de Fluxo Vertical Empregado no Tratamento de Esgoto de um Restaurante Universitário.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 88 p. 2016



ROSA, C. D; BASSANI, L. **Projeto de dimensionamento de um sistema de Wetland Construído (WC) em residência unifamiliar no município de Chapecó – SC e comparativo de custos com as lagoas de estabilização.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária). Universidade Federal Fronteira Sul. 24 p. 2019

ROUSSO, B. Z; SANTOS, M. O; FREITAS, N. M; PELISSARI, C; FECHINE, V. Y; SEZERINO, P. H; **Avaliação de aptidão de lançamento do efluente tratado em sistema híbrido de wetlands construídos.** TECNO-LÓGICA, vol. 22, n. 1, p. 30-34. Santa Cruz do Sul. 2018.

SAEED T, B. PAUL, R. AFRIN, A. AL-MUYEED, G. **Sun Floating constructed wetland for the treatment of polluted river water: a pilot scale study on seasonal variation and shock load** *Chem. Eng. J.*, 287 (2016), pp. 62-73, 10.1016/j.cej.2015.10.118

SALATTI, Eneida. **Utilização de sistema de Wetland construídas para o tratamento de águas.** *Biológico*, São Paulo, v. 65, n. 1/2, p. 113-116, 2003.

SANTOS, M. O; PELISSARI, C; ROUSSO, B. Z; FREITAS, M. N; SEZERINO, P. H; **Avaliação dos dois primeiros anos de operação de um wetland construído vertical de fundo saturado aplicado no tratamento de esgoto sanitário.** TECNO-LÓGICA, vol. 22, n. 1, p. 25-29. Santa Cruz do Sul. 2018.

SEZERINO, P. H; BENTO, A. L; DECEZARO, S. T; MAGRI, E. M; PHILIPPI, L. S. **Experiências brasileiras com Wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais.** *Engenharia Sanitária e Ambiental*, vol. 20, n. 1. Rio de Janeiro. 2015.

Sezerino, Paulo Heleno et. al. **Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais.** *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, volume 20, n.1, p. 151-158, 2015.

Silva, L. A. M., Silva, T. S., Pastich, E. A., & Santos, S. M. (2019). **Uso sustentável de macrófitas no tratamento de efluentes: uma revisão sistemática.** *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 4(4), 228–238. <https://doi.org/10.24221/jeap.4.4.2019.2590.228-238>

SILVA, S. C. **“Wetlands construídos” de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos.** 2007. 205 p. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos.** Site institucional, 2020. Disponível em: <<http://antigo.snis.gov.br/componentes/menu-snis-componente-agua-e-esgotos>>.

SOUSA, J. T. de, van HAANDEL, A.C . GUIMARÃES, A.V.A. **Pós-tratamento de efluente anaeróbio através de sistemas wetland construídos.** In: Chernicharo, C. A.L.(coordenador) Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Coletânea de trabalhos técnicos, Belo Horizonte: ABES, p 25 – 32, 2000.

SOUSA, J. T. de, van HAANDEL, A.C. LIMA, E.P.C. HENRIQUE, I. N. **Utilização de wetland construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB.** Eng. Sanit. ambient, UEPB, Nota Técnica, Campina Grande, vol. 09, p 285– 290, 2004.

UHR, J. G. Z.; SCHMECHEL, M.; UHR, D. de A. P. **Relação entre saneamento básico no Brasil e saúde da população sob a ótica das internações hospitalares por doenças de veiculação hídrica.** RACEF – Revista de Administração, Contabilidade e Economia da Fundace. v. 7, n. 2, p. 01-16, 2016.

WANG R., L. XU, X. XU, Z. XU, X. ZHANG, X. CONG, K. **Tong Hydraulic characteristics of small-scale constructed wetland based on residence time distribution Environ. Technol.**, 44 (2023), pp. 1061-1070, 10.1080/09593330.2021.1994018

WEI, Z.; LE, Q. V.; PENG, W.; YANG, Y.; YANG, H.; GU H.; LAM, S. S.; SONNE, C.. **A review on phytoremediation of contaminants in air, water and soil.** Journal of Hazardous Materials, v.403, 2021.

ZANELLA, L. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: Wetlands-construídos utilizando brita e bambu como suporte.** 2008. 189p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

## APÊNDICE A – RELATÓRIO TÉCNICO

# **RELATÓRIO TÉCNICO**

**Projeto de Alagado Construído no Bairro  
Cohab Nova, município de Cáceres - MT.**

Elaborado por Carlos Gabriel  
Lacerda Carvalho

## **Relatório Técnico – Projeto de Alagado Construído em Cáceres - MT.**

### **Realização:**

Carlos Gabriel Lacerda Carvalho

### **Revisão:**

Francisco Lledo dos Santos

### **Apoio técnico:**

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES

Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua

Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

Laboratório de Ictiologia do Pantanal Norte – LIPAN

Cáceres - MT

2023

# 1 APRESENTAÇÃO

A cidade de Cáceres está inserida na região oeste do Estado de Mato Grosso, com área aproximada de 24.495 km<sup>2</sup> e população estimada no ano de 2021 em 89.478 habitantes. (IBGE, 2022). Este município está na Região da Bacia Hidrográfica do Rio Paraguai que é composta por mais 77 municípios e tem abrangência internacional (ANA, 2018), com uma área aproximada de 362.380 km<sup>2</sup>.

Segundo o Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica do Rio Paraguai (ANA, 2018) o rio Paraguai nasce na Chapada dos Parecis, seguindo para a região sul, sendo divisa dos biomas da Amazônia e do Cerrado, até adentrar no Pantanal na região de Cáceres, sendo o principal responsável pela drenagem desta planície, com uma extensão total aproximada de 2.621 km (SILVA et al, 2007).

Tem como principais rios formadores, além do próprio rio Paraguai, os rios: Jauru, Sepotuba, Cuiabá, São Lourenço, Correntes, Taquari, Negro, Miranda, Aquidauana e Apta. (ANA, 2018):

Rica em biodiversidade a bacia do rio Paraguai tem ao longo dos seus 2.621 km uma enorme gama de fauna e flora. É nesta bacia que está inserida o Pantanal Mato-grossense (ANA,2018). O relevo da Região Hidrográfica do Rio Paraguai, está entre 0 e 1.174 m de altitude e apresenta um regime de chuvas bem definido, com precipitação anual variando entre 800 e 2000 mm.

Socioeconomicamente, a RH do rio Paraguai abastece cerca de 2,6 milhões e habitantes, estando presente em diversa áreas econômicas, como turismo, agropecuária, mineração, pesca, entre outros. Potencial este que pode ser aumentado, quando levamos em consideração outras características que podem ser aproveitadas como a capacidade hidroviária na região do Pantanal, e a de produção hidrelétrica na região do Alto Paraguai.

Segundo os dados apresentados pela Autarquia Águas do Pantanal, responsável por gerir os serviços de saneamento básico do município, no ano de 2020 cerca de 86,35% estavam sendo atendidos com serviço de abastecimento de água em pelo menos um cômodo do domicílio. (SNIS 2020). Ainda segundo o SNIS (2020) o índice de coleta de esgoto por sua vez está em torno de 5,05%, sendo que todo o esgoto coletado passa por um tratamento antes de ser devolvido ao corpo hídrico. A área para escolhida para a implantação do projeto é o bairro Cohab Nova que apresenta uma Estação de Tratamento de Esgoto, implantada na década de 80 e atende de aproximadamente 568 residências, com uma rede coletora de aproximadamente

**RELATÓRIO TÉCNICO– Projeto de Alagado Construído no município de Cáceres - MT.**

5.277 metros de extensão, alimentando em um sistema de lodo ativado, por aeração por ar difuso, seguido de leito de secagem.

Este relatório técnico desenvolvido pelo mestrando Carlos Gabriel Lacerda Carvalho, orientado pelo Prof.Dr. Francisco Lledo dos Santos e Prof.<sup>a</sup> no programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação dos Recursos Hídricos– ProfÁgua tem por finalidade propor aos representantes municipais uma alternativa de tratamento de esgoto baseado no sistema de alagados construídos de maneira sustentável e eficaz.

## 2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é a Estação de Tratamento de Esgoto – ETE, no bairro Cohab Nova, no município de Cáceres – MT, como ilustrado na imagem abaixo.



*Figura 8 - Área de atendimento da ETE - Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico de Cáceres*

Sendo implantada da década de 80, juntamente com o bairro a ETE atende de aproximadamente 568 residências, com uma rede coletora de aproximadamente 5.277 metros

---

**RELATÓRIO TÉCNICO– Projeto de Alagado Construído no município de Cáceres - MT.**



de extensão, alimentando em um sistema de lodo ativado, por aeração por ar difuso, seguido de leito de secagem.

Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico de Cáceres do ano de 2020, a vazão média aproximada das ligações domiciliares é de 290 m<sup>3</sup>/dia.

O tanque de decantação de capacidade de 410 m<sup>3</sup> de efluente, enquanto o leito de secagem tem capacidade de 93 m<sup>3</sup>. Em anexo segue o projeto da do tanque de decantação e leito de secagem existente.

Abaixo segue a imagem da coleta do efluente.



*Figura 9-Coleta de efluente - Fonte: Autor*

Para a realização dos ensaios do efluente foi utilizado um Fotômetro Multiparâmetro para análise de águas residuais modelo Hanna HI83399 em parceria com o Laboratório de Ictiologia do Pantanal Norte – LIPAN presente na Universidade do Estado do Mato Grosso – UNEMAT. de modo que fosse se obtivesse os parâmetros iniciais para o dimensionamento do alagado construído, como ilustrado na figura abaixo.

---

**RELATÓRIO TÉCNICO– Projeto de Alagado Construído no município de Cáceres - MT.**





Figura 10 - Fotômetro Multiparâmetro Hanna - Fonte: Autor

Os dados obtidos após análise estão dispostos na a tabela a seguir:

Tabela 1 - Dados de entrada do efluente

Nitrato	Amônia	Nitrito	pH	DBO	DQO	Fósforo
5,85 mg/l	33,31 mg/l	1,89 mg/l	9,75	135,6 mg/l	266,8 mg/l	66,88 mg/l

### 3 DIMENSIONAMENTO DO ALAGADO CONSTRUÍDO

Para a delimitação da área do Alagado Construído foi realizado utilizando-se a equação de Monod modificada para cinética de primeira ordem, a qual resulta na expressão apresentada abaixo.

$$A = \frac{Q \cdot (\ln C_0 - \ln C)}{K \cdot p \cdot \eta} \quad (1)$$

Onde: A é a área superficial do SAC, em m<sup>2</sup>; Q é a vazão afluente, em m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>; Co é concentração afluente, em g m<sup>-3</sup>; C é a concentração efluente, em g m<sup>-3</sup>; K é o coeficiente de degradação, em d<sup>-1</sup>; p é a profundidade média do SAC, em m; e η = porosidade do filtro do SAC, adimensional.

**RELATÓRIO TÉCNICO– Projeto de Alagado Construído no município de Cáceres - MT.**

Para este dimensionamento será utilizado o valor de vazão de 290 m<sup>3</sup>/dia e o valor de DBO coleado do tanque de 135,611 mg/l. Admitindo-se uma redução de 60% da carga de DBO, após passagem pelo alagado construído e considerando um coeficiente de degradação de 0,36 d<sup>-1</sup>, porosidade de areia grossa igual a 0,35 e a profundidade útil de material filtrante é de 0,70 m, teremos a seguinte equação:

$$A = \frac{290 \cdot (\ln 135,611 - \ln 54,244)}{0,36 \cdot 0,35 \cdot 0,70} \quad (1)$$

$$A = 1.814,965 \text{ m}^2$$

As características construtivas são adotadas segundo a metodologia de Sezerino (2018), ilustradas na tabela a seguir:

**Tabela 2** - Dados construtivos do projeto

Área superficial requerida (m <sup>2</sup> )	1.814,965
Número de Unidades em Paralelo	12
Relação entre comprimento e largura	2:1
Comprimento (m)	18,00
Largura (m)	9,00
Área superficial por unidade (m <sup>2</sup> )	162,00
Somatória da área superficial utilizada (m <sup>2</sup> )	1.944,00
Inclinação do talude interno	1:1
Declividade longitudinal	1%
Granulometria do leito	Brita 01 (9,5 a 19 mm)
Granulometria de suporte das macrófitas	Areia Grossa (1,2 a 2 mm)
Granulometria da zona de entrada	Brita 04 (50 a 76 mm)
Impermeabilização de fundo	Geomembrana de 1,5 mm

O projeto gráfico segue em anexo.

---

**RELATÓRIO TÉCNICO– Projeto de Alagado Construído no município de Cáceres - MT.**

## 4 MEMORIAL DESCRITIVO

O presente memorial tem por objetivo descrever os métodos construtivos referentes ao sistema de alagados construídos.

### 1. INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS

O canteiro de obras deverá ter acesso a água e energia. Por se tratar de uma obra com grande movimentação de solo, areia e brita, deverá ter espaço hábil para manobra de caminhão.

### 2. MOVIMENTAÇÃO DE SOLO.

O terreno deverá ser escavado até a cota prevista no projeto, respeitando o talude e a inclinação indicada. A compactação deverá ser executada mecanicamente. Caso o solo natural não apresente coesão para compactação, deverá ser corrigido com solo adequado.

### 3. IMPERMEABILIZAÇÃO

O fundo do sistema de alagado será impermeabilizado com geomembrana ou lona plástica, de modo que não haja contaminação do solo por infiltração de efluente.

### 4. MACIÇO FILTRANTE

Serão dispostas as camadas de brita 02 e areia como consta no projeto. Serão espalhadas e organizadas, não sendo necessário compactação com rolo vibratório.

### 5. CAIXAS E PASSAGEM E TUBULAÇÃO

As caixas de passagem deverão ser executadas onde a mudança ou escoamento em várias direções do efluente. A tubulação deverá seguir o projeto, bem como sua inclinação. A tubulação na zona de entrada deverá ser de tubo perfurado, para que facilite a absorção do efluente no sistema.

### 6. ZONAS DE ENTRADA E SAÍDA

As zonas de entrada e saída deverão ser preenchidas por brita 04 ou pedra de mão.

### 7. PLANTIO DAS MACROFITAS

As macrófitas por sua vez serão plantadas em mudas sobre o maciço filtrante (areia).

### 8. LIMPEZA E UTILIZAÇÃO

Ao final da obra deverá ser feita uma limpeza dos entulhos produzidos. A utilização do sistema deverá ser acompanhada por profissional que deverá observar vazão de entrada e saída do sistema, nível de poluentes do efluente pré e pós tratamento.

---

**RELATÓRIO TÉCNICO– Projeto de Alagado Construído no município de Cáceres - MT.**

## 5 ORÇAMENTO DE IMPLANTAÇÃO

Para a orçamentação do sistema de alagados construídos será utilizada bases orçamentárias oficiais para orçamentação de obras públicas (SINAPI/ORSE). Neste orçamento não foi incluído os valores referentes a terreno e impostos para a implementação. O custo será de aproximadamente R\$ 338.043,53 (Trezentos e trinta e oito mil, quarenta e três reais e cinquenta e três centavos).

O custo aproximado por metro quadrado será de R\$ 173,90 (cento e setenta e três reais e noventa centavos).

Em anexo segue a planilha orçamentária detalhada

## 6 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Como dito na concepção do trabalho a operação de um sistema de alagados construídos não requerem mão de obra especializada ou serviços complexos. Deve observar o fluxo hidráulico afluente de modo que não exceda a carga a qual foi dimensionada ou não apresente nenhum tipo de obstrução durante o percurso.

Para o manejo das macrófitas segundo Sezerino et al (2018) deve-se observar dois fatores: o controle de plantas invasoras e a poda regular. A poda estimula a capacidade de fito extração da planta, quando a mesma se encontra em senescência.

O controle da efetividade do sistema de alagado construído é observado mais assertivamente através da investigação do efluente, tanto na entrada, quanto na saída do sistema. Essa investigação através de coletas e ensaios deve ser periódica de modo que forneça informações sobre a remoção dos poluentes.

O descarte dos materiais de módulos dos sistemas que já estejam saturados, deverão ser feitos em locais adequados, de modo que os materiais não venham a contaminar o meio ambiente.

---

**RELATÓRIO TÉCNICO– Projeto de Alagado Construído no município de Cáceres - MT.**

## 7 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se a observação quanto a efetividade do sistema de alagado construído implantado, principalmente exposto a intempéries e mudanças climáticas, que haja o contínuo aprimoramento de sua aplicação. O acompanhamento e análise do sistema é de vital importância para a continuidade de sua utilização.

---

**RELATÓRIO TÉCNICO– Projeto de Alagado Construído no município de Cáceres - MT.**

## REFERÊNCIAS

SEZERINO, P. H; ROUSSO, B. Z; PELISSARI, C; SANTOS, M. O; FREITAS, M. N; FECHINE, V. Y; LOPES, A. M. B. Wetlands Construídos aplicados no tratamento de esgoto sanitário – Recomendações para implantação e boas práticas de operação e manutenção. Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado – GESAD/Ministério da Saúde/FUNASA, vol. 1. Tubarão/Santa Catarina. 2018.



SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos. Site institucional, 2020. Disponível em: <<http://antigo.snis.gov.br/componentes/menu-snis-componente-agua-e-esgotos>>.

SILVA, S. C. “Wetlands construídos” de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos. 2007. 205 p. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007.

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DE CÁCERES – Relatório Final. Líder Engenharia e Gestão de Cidades/Prefeitura Municipal de Cáceres, Cáceres, MT.

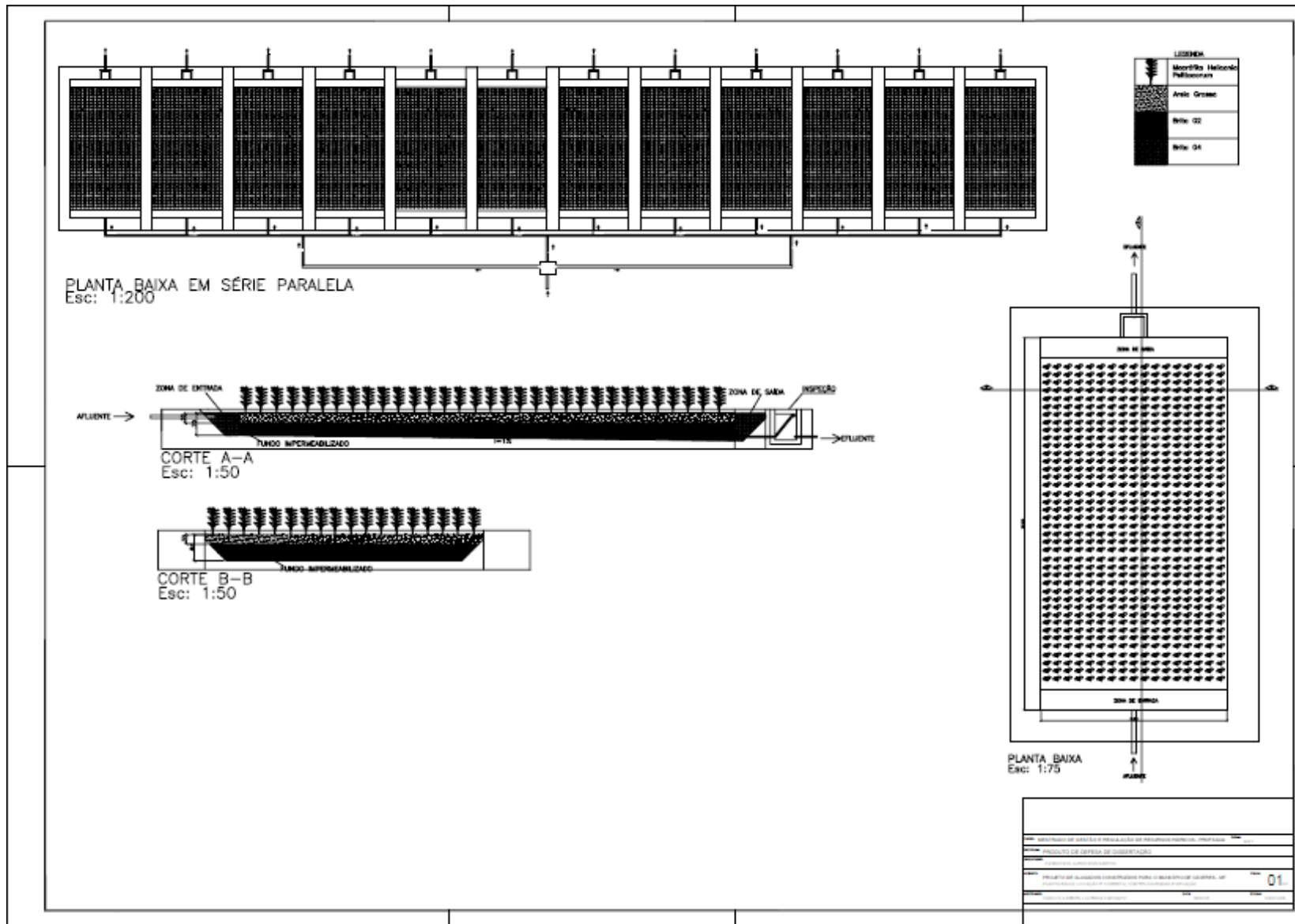
---

RELATÓRIO TÉCNICO– Projeto de Alagado Construído no município de Cáceres - MT.

 							RESONSÁVEL TÉCNICO		
							CARLOS GABRIEL LACERDA CARVALHO		
							ENG. CIVIL - CREA MT034542		
OBRA: CONSTRUÇÃO ALAGADOS CONSTRUÍDOS							REFERENCIA	SINAPI/ORSE	07/2023 DESON.
LOCAL: Estação de Tratamento de Esgoto – ETE, no bairro Cohab Nova, no município de Cáceres – MT									
DATA: SETEMBRO DE 2023									
PLANILHA ORÇAMENTÁRIA									
ITEM	CÓDIGO	FONTE	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UN.	QUANT.	CUSTO (R\$)	PREÇO (R\$)	VALOR (R\$)	
<b>SERVIÇOS PRELIMINARES</b>									
2.0									
2.1	101134	SINAPI	ESCAVAÇÃO HORIZONTAL, INCLUINDO CARGA, DESCARGA E TRANSPORTE EM SOLO DE 1ª CATEGORIA COM TRATOR DE ESTEIRAS (100HP/LÂMINA: 2,19M3) E CAMINHÃO BASCULANTE DE 10M3, DMT ATÉ 200M. AF 07/2020	M³	1.776,38	14,33	R\$ 14,33	R\$ 25.455,58	
							TOTAL DA ETAPA =	R\$ 25.455,58	
<b>EXECUÇÃO DO MACIÇO FILTRANTE</b>									
3.0									
3.1	68053	SINAPI	FORNECIMENTO/INSTALACAO LONA PLASTICA PRETA, PARA IMPERMEABILIZACAO, ESPESSURA 150 MICRAS.	M²	1.254,53	5,13	R\$ 5,13	R\$ 6.435,73	
3.1	2657	ORSE	Lastro de brita 2	M³	824,04	192,67	R\$ 192,67	R\$ 158.767,79	
3.1	6316	ORSE	Lastro de areia	M³	535,68	137,96	R\$ 137,96	R\$ 73.902,41	
	2643	ORSE	Colocação de brita 04 em filtro	M³	120,60	95,93	R\$ 95,93	R\$ 11.569,16	
							TOTAL DA ETAPA =	R\$ 250.675,09	
<b>TUBOS E CAIXAS DE PASSAGEM</b>									
4.0									
4.1	90695	SINAPI	TUBO DE PVC PARA REDE COLETORA DE ESGOTO DE PAREDE MACIÇA, DN 150 MM, JUNTA ELÁSTICA - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. AF 01/2021	M	60,00	87,14	R\$ 87,14	R\$ 5.228,40	
4.2	90694	SINAPI	TUBO DE PVC PARA REDE COLETORA DE ESGOTO DE PAREDE MACIÇA, DN 100 MM, JUNTA ELÁSTICA - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. AF 01/2021	M	150,00	45,70	R\$ 45,70	R\$ 6.855,00	
4.3	97903	SINAPI	CAIXA ENTERRADA HIDRÁULICA RETANGULAR EM ALVENARIA COM TIJOLOS CERÂMICOS MACIÇOS, DIMENSÕES INTERNAS: 0,8X0,8X0,6 M PARA REDE DE ESGOTO. AF 12/2020	UND	13,00	783,78	R\$ 783,78	R\$ 10.189,14	
							TOTAL DA ETAPA =	R\$ 22.272,54	
<b>TUBOS E CAIXAS DE PASSAGEM</b>									
5.0									
4.1	7661	ORSE	Planta - Heliconia papagaio (heliconia psittacorum) h=1,00m, fornecimento e plantio	UND	864,00	45,88	R\$ 45,88	R\$ 39.640,32	
							TOTAL DA ETAPA =	R\$ 39.640,32	
							TOTAL GERAL =	338.043,53	

RELATÓRIO TÉCNICO– Projeto de Alagado Construído no município de Cáceres - MT.





**RELATÓRIO TÉCNICO- Projeto de Alagado Construído no município de Cáceres - MT.**